

# CONSTRUCCION DE LA PRESA DE QUENTAR

Por JOSE MARIA AGUIRRE DE SOLANO (\*)

Doctor Ingeniero de C., C. y P.

## CARACTERISTICAS GENERALES

Las obras se encuentran situadas a 20 Km de la ciudad de Granada y se destinan al abastecimiento de agua de esta ciudad. Además de la presa, cuyas características se detallan más adelante, comprenden el acondicionamiento del camino vecinal a La Peza, con variante de la travesía del pueblo de Quéntar, reposición del abastecimiento de agua al mismo, edificaciones complementarias y las previas de desvío de río.

El emplazamiento de la presa se encuentra en un cañón de paredes casi verticales en sus 70 m inferiores, incluso con zonas en desplome; las rocas que lo forman son calizas dolomíticas, que pertenecen a un conjunto muy tectonizado, con numerosas fallas y fracturas, en el que es muy difícil encontrar síntomas de estratificación.

El crecimiento de la población de Granada y la ampliación de su red de distribución eran causa de que se estuviera alcanzando el límite de las posibilidades del abastecimiento existente; por otra parte, la falta de embalses reguladores aguas arriba de la ciudad hacía correr a la misma un grave riesgo de sufrir restricciones de agua en los períodos de estiaje. Por esta causa la construcción debía planificarse no sólo tendiendo a obtener el menor plazo posible, sino también considerando la posibilidad de efectuar un embalse parcial durante la misma.

## CARACTERISTICAS DE LA PRESA

La presa de Quéntar se encuentra situada unos 3 Km aguas arriba del pueblo del mismo nombre, en el río Aguas Blancas. Sus características principales son:

- Bóveda de doble curvatura.
- Altura máxima sobre cimientos: 133 m.
- Longitud de coronación: 200 m.
- Cota de coronación: 1.041.
- Aliviadero lateral en la margen derecha, restituyendo al río mediante trampolín, de 600 m<sup>3</sup>/seg. de capacidad.

- Dos desagües de fondo en el cuerpo de presa con 75 m<sup>3</sup>/seg. de capacidad máxima.
- Tomas de agua a cuatro niveles, en torre independiente de la estructura de la presa, con acceso desde su coronación.
- Inyección y control de juntas a través de cinco galerías horizontales que delimitan los diferentes recintos, a las que se accede por un pozo excavado en la margen derecha.
- Galería de cimientos a la cota 912,50, con acceso desde la inferior de las anteriores.
- Volumen total de excavaciones: 175.000 m<sup>3</sup>.
- Volumen total de hormigón: 227.000 m<sup>3</sup>.

## BASES DE LA PLANIFICACION DE LA OBRA

En la construcción de la obra debían conjugarse dos extremos, cada uno con la mayor importancia: la calidad y el plazo. Como este segundo se refería a la puesta en explotación del embalse, era preciso que el hormigón de la estructura de la bóveda alcanzara en un espacio breve de tiempo las condiciones previstas para la inyección de juntas; en el pliego de condiciones se fijaba para ello que la temperatura del hormigón hubiera llegado a ser 18° C.

Por otra parte, este mismo pliego dejaba mucha libertad de actuación al constructor en lo que se refería a la fabricación de los hormigones. Como puntos más importantes se fijaba que los áridos se clasificaran como mínimo en seis tamaños, dos de ellos de arena, cuya granulometría debía quedar comprendida en el huso siguiente:

Malla (mm)	Retenido (%)
4	0-2
2	12-25
1	30-45
0,5	50-65
0,25	70-85
0,125	90-95

(\*) Agradecemos a los señores J. A. Becerril, A. Galardón y D. Ruiz de Vargas la colaboración prestada para la redacción del presente artículo.



PLANTA GENERAL

la resistencia característica se fijaba en 250 Kg/cm<sup>2</sup> a los veintiocho días, medida en probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, y la dosificación máxima de cemento se fijaba en 300 Kg de cemento.

Estas circunstancias permitían al constructor compaginar la carestía que se podía deducir de unos áridos de gran calidad con la economía correspondiente a la

## ESTUDIOS PREVIOS

7

Como consecuencia de las consideraciones anteriores se deduce la importancia de un estudio a fondo de tres puntos fundamentales para garantizar en el desarrollo de los trabajos tanto el cumplimiento de las prescripciones técnicas como de las condiciones de plazo, previendo la eventualidad de un embalse parcial que permita evitar las consecuencias de los retrasos que pudieran surgir en su desarrollo por diferentes causas.

El primero de ellos se refiere a la procedencia de los áridos. Aunque tanto aguas arriba como aguas abajo de la cerrada existían afloramientos de roca en abundancia, aparentemente calizos en su mayoría, presentaban grandes diferencias en su aspecto y estratificación. Por otra parte, era preciso tener en cuenta las dificultades de acceso a la margen izquierda y el excesivo tiempo que requeriría habilitarlo.

El segundo, a la posibilidad de obtener un cemento que hiciera compatible el obtener las condiciones de resistencia, impermeabilidad y trabajabilidad, junto con un bajo calor de fraguado y una dosificación lo menor posible.

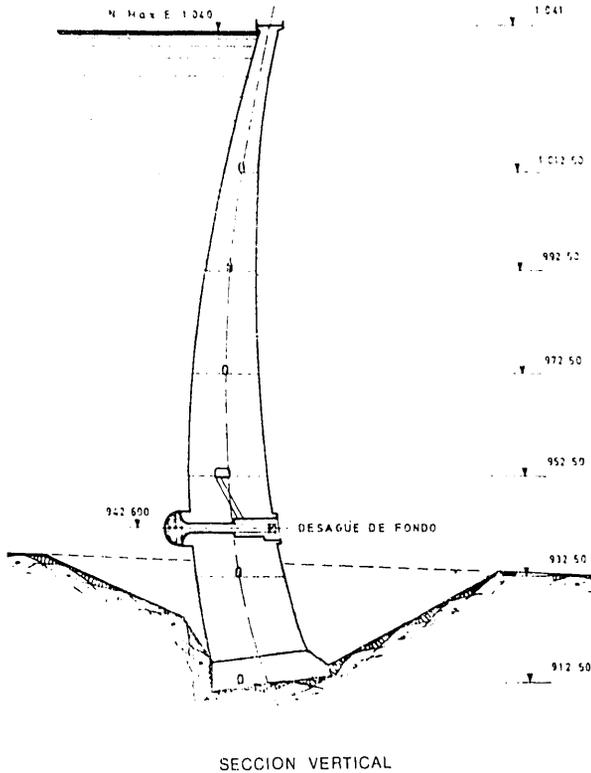
El tercero, el estudio detallado de un programa de hormigonado bloque a bloque, que, respetando las prescripciones de tiempo entre bloques adyacentes, proporcionara el mínimo tiempo total.

## ELECCION DE CANTERA

La calidad del hormigón sólo puede conseguirse exigiendo a su vez, como lo hace el pliego de condiciones particulares, una alta calidad a sus componentes inertes, o sea, los áridos y su granulometría. Aunque siempre puede obtenerse la calidad deseada con una instalación adecuada y haciendo caso omiso del factor económico, la realidad es que la garantía de obtener dicha calidad en el transcurso de la obra es tanto mayor cuanto mayores sean las facilidades que ofrezca la cantera. Por este motivo se recorrió detenidamente la zona, estudiando las posibilidades de cantera.

En principio, desde algo aguas abajo de la cerrada de la presa y en varios kilómetros hacia aguas arriba, existe roca en ambas márgenes del río y prácticamente desde la cota de éste. La roca es aparentemente caliza, aunque presenta muchas diferencias en su aspecto y su estratificación; por tanto, se eligieron para el estudio cuatro emplazamientos posibles teniendo en cuenta los siguientes factores: topografía del terreno en una zona que permita la explotación de 300.000 m<sup>3</sup> (sólo serán necesarios del orden de 200.000 m<sup>3</sup>), posibilidad de acceso a la misma y de instalación del machaqueo primario y silo de primeras materias, facilidad de transporte de las primeras materias a las instalaciones en la presa, uniformidad de la roca en la cantera y facilidad de limpieza previa de la cantera.

Los cuatro emplazamientos seleccionados en un prin-

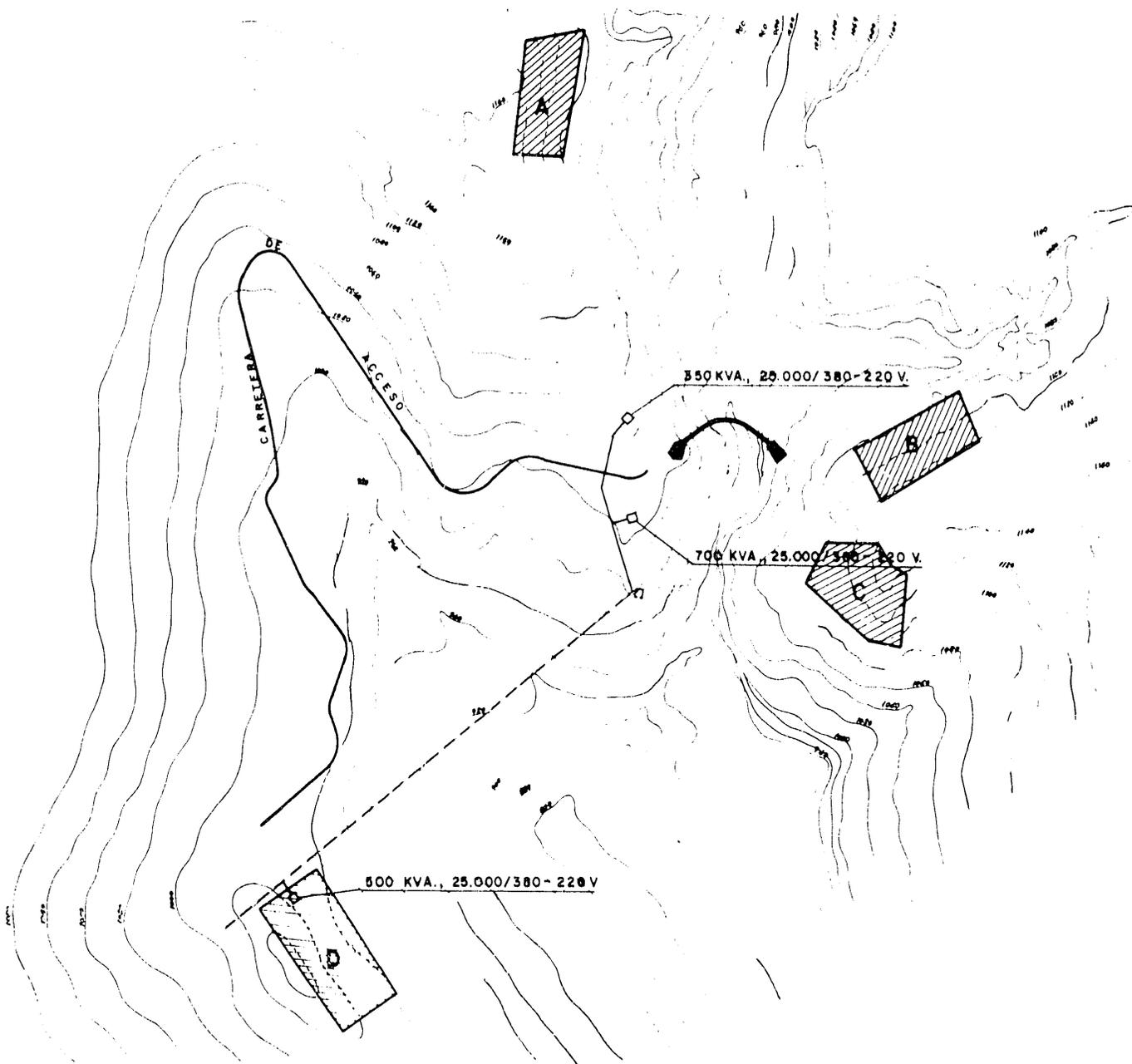


menor dosificación posible de cemento y, consecuencia de ésta, la que se obtuviera en los gastos de refrigeración del hormigón.

Por otra parte, las características topográficas de la cerrada y el tipo de presa impedían simultáneamente su hormigonado con las excavaciones, por lo que estas últimas debían necesariamente ejecutarse en su totalidad previamente a la iniciación de aquél. El tiempo que en ellas se invertía se hacía coincidir con el necesario para el montaje de las instalaciones de fabricación de áridos y hormigón y puesta en obra de este último.

Estos trabajos, instalaciones y excavaciones requerían realizar previamente los correspondientes al acceso a la obra y desvío del río, si bien no los condicionaban en su totalidad, pudiéndose comenzar parcialmente antes de que se encontraran terminados.

Por último, era preciso tener en cuenta también que el ritmo de hormigonado se encontraba limitado por la escasez del número de bloques en la mitad inferior de la presa y por el escaso volumen de los mismos en su mitad superior.



cipio se señalan en el croquis adjunto, y las características de los mismos son:

a) Se encuentra unos 700 m aguas arriba de la cerrada, en la margen derecha, por encima del camino a La Peza. La roca está muy estratificada y con numerosos pliegues; muy cerca se observa un contacto con calizas margosas que es posible que afecte a la zona de explotación, aunque exteriormente no se ha podido comprobar; requiere mucha limpieza previa y luego otra posterior de detritus debidos al estado de la roca en los pliegues más acusados. El frente de ataque será bastante irregular

y en algunas zonas dará áridos lajados. El peso específico de la roca sana es 2,83 y su calcimetría 95,50 por 100. El análisis químico de la misma es:

Sílice + insolubles ( $\text{SiO}_2 + \text{RI}$ ) .....	2,24
Oxido férrico + alúmina ( $\text{R}_2\text{O}_3$ ) .....	0,67
Cal ( $\text{CaO}$ ) .....	52,34
Magnesia ( $\text{MgO}$ ) .....	1,41
Pérdida al fuego .....	42,64
Alcalis y sin dosificar .....	0,70

Total ..... 100,00

b) Situada en la margen izquierda, aguas arriba de la cerrada y muy próxima a ella. Por esta razón su explotación se haría por encima de la cota 1.080, es decir, 40 m más alta que la coronación de la presa. Requiere una importante limpieza previa y aunque la disposición de los estratos no es la más favorable para la explotación, sí es de esperar un frente de buena uniformidad. El transporte de materias primas a las instalaciones es muy sencillo, pero, en cambio, el acceso a la cantera requiere una obra importante, pues había que prolongar el camino de Güejar Sierra al cortijo de Prado Montero y acondicionar éste en diversos puntos. La roca es sana, de peso específico 2,81 y su calcimetría 95,25 por 100. El análisis químico ha dado:

Silice + insolubles .....	2,80
Oxido férrico + alúmina .....	0,30
Cal (CaO) .....	53,30
Magnesia (MgO) .....	0,80
Pérdida al fuego .....	42,00
Alcalis y sin dosificar .....	0,80
<hr/>	
Total .....	100,00

c) En realidad se trata de la misma cantera anterior, pero atacada por la parte de aguas abajo del cerro que forma el estribo izquierdo de la presa. Por encontrarse aguas abajo se ha considerado su explotación a la cota 1.100, o sea, 60 m más alta que la coronación de la presa. La disposición de los estratos en este caso es francamente favorable para la explotación de la cantera y su limpieza previa es mucho menor que en los casos anteriores. El acceso a la misma tiene las mismas dificultades que en el caso anterior, si bien la longitud de camino a abrir sería menor. Su peso específico es 2,81 y su calcimetría 96 por 100. El análisis químico de la muestra tomada:

Silice + insolubles .....	2,60
Oxido férrico + alúmina .....	0,22
Cal (CaO) .....	53,11
Magnesia (MgO) .....	0,91
Pérdida al fuego .....	42,61
Alcalis y sin dosificar .....	0,55
<hr/>	
Total .....	100,00

d) Esta cantera se encuentra en la margen derecha del río, en un pequeño cerro que se halla unos 700 m aguas abajo de la cerrada y en la margen derecha del barranco del Alamo o de la Plata, por lo que es totalmente independiente del macizo en que se estriba la presa y puede, por tanto, atacarse a la cota que resulte más conveniente. Su acceso es fácil, pues se iniciaría la cantera junto a la bifurcación donde parte el ramal de acceso al laboratorio. El transporte a las instalaciones puede hacerse en camión por la carretera a coronación (1.500 m de distancia) o bien con una cinta de unos 600 m que salve el barranco del Alamo o de la Plata.

La estratificación es buena para la explotación y limpieza previa, aunque mayor que en la denominada C), fácil de hacer. El peso específico es 2,82, su calcimetría 96,50 por 100 y el análisis químico:

Silice + insolubles .....	1,48
Oxido férrico + alúmina .....	0,11
Cal (CaO) .....	53,54
Magnesia (MgO) .....	0,51
Pérdida al fuego .....	43,52
Alcalis y sin dosificar .....	0,84
<hr/>	
TOTAL .....	100,00

Como puede verse, la piedra de las cuatro canteras es prácticamente la misma, por lo que la elección puede hacerse atendiendo a razones de facilidad para el trabajo. Las dos que como canteras reúnen mejores condiciones son las denominadas C) y D) y entre ellas se centró la elección. La primera tiene a su favor unos trabajos de apertura más sencillos, una menor limpieza y el hecho de que, por estar muy próxima a la cerrada, se reunían en un solo conjunto todas las instalaciones. En su contra tenía precisamente el que este agrupamiento de las instalaciones se hace en la margen izquierda, lo que da lugar a un aislamiento de las mismas que ha de ser un grave inconveniente para la marcha de los trabajos en general. El hecho de que se prolongue el camino desde Güejar Sierra, que habría que hacer en cualquier caso, no evita esto, ya que se trata de un tramo de 8 Km en condiciones pobres que, si bien permite el transporte de cualquier material o medio auxiliar, resultaba muy incómodo para un tráfico regular y constante. Por otra parte, y éste es el factor principal, las dificultades de acceso a la margen izquierda y cantera "C" se traducían en un aumento del plazo necesario para el montaje de las instalaciones.

Garantizada la calidad de los áridos y del hormigón con ambas canteras, se consideró éste como factor decisivo en su elección, adoptando definitivamente la cantera "D", cuyo acceso permanente era fácil y sencillo, agrupando además el resto de instalaciones en la margen derecha.

ELECCION DEL TIPO DE CEMENTO

El hecho de disponer de una fábrica de cemento con una producción de 70.000 Tm anuales relativamente próxima a la obra, llevó a considerar la posibilidad de fabricar un cemento de características adecuadas a una presa bóveda como Quéntar. Con este objeto se realizaron una serie de ensayos en el laboratorio de la propia fábrica, con los que se llegó a obtener un cemento que, junto a las condiciones que se exigen para la presa de Quéntar, une la de tener un moderado calor de fraguado, 80 cal/gr a los veintiocho días en lugar de los 85 considerados.

Foto 1.—Vista de la cerrada desde aguas abajo.



Foto 2.—Vista de la cerrada desde aguas arriba. Se puede observar en la margen derecha la traza del canal aprovechado para el desvío de río.



Las diferentes normas nacionales para cementos definen y clasifican a los conglomerantes hidráulicos. Contienen especificaciones de carácter general y de naturaleza química, física y mecánica que deben cumplir los distintos tipos, clases y categorías o calidades de cemento.

Sin embargo, una norma general no puede tener en cuenta toda la casuística de empleos y aplicaciones, a veces muy específicos de los cementos. Por tanto, puede ser necesario o conveniente, en determinadas circunstancias, complementar de forma cuantitativa o cualitativa la norma de carácter general, con especificaciones más detalladas, e incluso con nuevas prescripciones para casos especiales. Estas prescripciones y detalles suelen tener cabida en normas de carácter, validez y campo de aplicación particulares, que en nuestro país suelen llamarse "pliegos especiales o particulares de condiciones" para un determinado tipo de obra o de utilización de los cementos.

Este parece ser el criterio adoptado al fijar la Administración las "condiciones particulares" que debe cumplir el cemento P-350, que había de emplearse en la construcción de la presa de Quéntar.

Dichas condiciones son:

Silicato tricálcico máximo ( $C_3S$ máx) .....	48 %
Aluminato tricálcico máximo ( $C_3A$ máx) .....	10 %
Cal libre e hidratada máximo (CaO máx) ....	1 %
Calor de fraguado a los veintiocho días máximo .....	85 cal/gr
Resistencias del mortero normal a veintiocho días mínimo .....	450 Kg/cm <sup>2</sup>

En primer lugar, hagamos constar que se trata de un cemento portland (por tanto, sin adiciones tales como cenizas, puzolanas, etc.) de moderado calor de fraguado, semejante al tipo II de la norma americana A.S.T.M., de características:

$C_3S$ + $C_2A$ máx .....	58 %
$C_2A$ máx .....	8 %
Calor de fraguado máximo a los veintiocho días .....	80 cal/gr

Siendo el calor de hidratación una propiedad aditiva que depende de los constituyentes del cemento, es de la mayor importancia determinar la contribución de cada componente al calor de hidratación. Verbeck y Foster han deducido los valores de la tabla I:

TABLA I

(Cal/gr por 0,01 gr del compuesto)

	3 días	7 días	28 días	90 días	6 1/2 años
$C_3S$	0,58	0,53	0,90	1,04	1,17
$C_2S$	0,12	0,10	0,25	0,42	0,53
$C_3A$	2,12	3,72	3,29	3,11	3,23
$C_1AF$	0,69	1,18	1,18	0,98	1,11

Por otro lado, Lerch y Bogue han seguido el curso de la hidratación paralelamente al desarrollo de las resistencias mecánicas. En la figura de la página siguiente se muestran los resultados obtenidos.

La tabla I y dicha figura ponen en evidencia la contribución de cada componente al calor de fraguado y a las resistencias mecánicas. Para reducir el calor de hidratación del cemento será necesario reducir los componentes más exotérmicos sustituyéndoles por aquellos que desprenden menos calor. La tendencia será sustituir el  $C_3S$  (silicato tricálcico) por  $C_2S$  (silicato bicálcico) hasta un valor compatible con las exigencias de resistencias, y al  $C_3A$  (aluminato tricálcico) por el  $C_1AF$  (alúmino ferrito tricálcico). Esta sustitución se consigue añadiendo a la mezcla cruda óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) que produce un aumento del  $C_1AF$ , que por ser poco más que un adulterante, que sustituye a los silicatos convenientes, no debe existir en cantidades excesivamente grandes.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se obtuvo un cemento de moderado calor de fraguado, de manera que cumpla las "condiciones particulares" exigidas para la presa de Quéntar y las normas A.S.T.M. para el cemento tipo II, y además la condición de un contenido mínimo de silicato bicálcico ( $C_2S > 35\%$ ) que garantiza una mayor durabilidad y resistencias mecánicas elevadas, y cuyas características eran:

Análisis químico.

Resultados referidos a la muestra desecada a 105-110° C:

Silice ( $SiO_2$ ) % .....	23,8
Alúmina ( $Al_2O_3$ ) % .....	4,2
Dióxido de titanio % .....	0,2
Oxido férrico ( $Fe_2O_3$ ) % .....	2,4
Cal (CaO) % .....	63,8
Magnesia (MgO) % .....	1,1
Anhidrido sulfúrico ( $SO_3$ ) % .....	1,9
Pérdida al fuego % .....	1,0
Insolubles % .....	0,4
Alcalis y sin dosificar % .....	1,2
TOTAL .....	100,0

Determinación de cal libre.

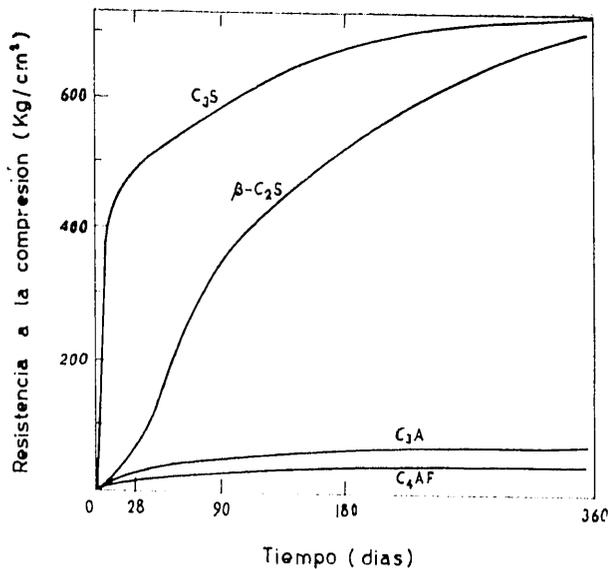
Cal libre (CaO) % .....	0,13
-------------------------	------

Composición potencial.

Silicato tricálcico ( $C_3S$ ) % .....	42
Silicato bicálcico ( $C_2S$ ) % .....	37
Ferrito aluminato tetracálcico ( $C_1AF$ ) % ..	7
Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) % .....	7

Fraguado (en agua).

Principio .....	2 horas 45 minutos
Fin .....	4 horas 10 minutos



*Finura de molido.*

Residuo sobre el tamiz de 4.900 mallas por cm <sup>2</sup> % .....	2,3
Residuo sobre el tamiz de 900 mallas por cm <sup>2</sup> % .....	< 0,01

*Estabilidad de volumen.*

Ensayo de autoclave % .....	0,01
-----------------------------	------

*Resistencias a flexotracción.*

3 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	51
7 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	63
28 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	100

*Resistencias a compresión.*

3 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	232
7 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	337
28 días Kg/cm <sup>2</sup> .....	550

Los resultados obtenidos con su empleo fueron óptimos, oscilando las dosificaciones del hormigón en la bóveda entre 230 y 250 Kg/m<sup>3</sup> y reduciendo notablemente las horas de utilización de las instalaciones de refrigeración para alcanzar las temperaturas finales.

**HORMIGONES**

*Ensayos previos.* — Para obtener la dosificación de los distintos hormigones se realizaron en el laboratorio los ensayos previos, empleándose en ellos los áridos, cemento y plastificante elegidos. Ello permitió establecer, en función de las condiciones previstas para la ejecución en obra y aceptando una normalidad de la distribución de las resistencias y un cuantil del 5 por 100, un valor para la resistencia media  $\sigma_{cm}$  tal, que:

$$\sigma_{ck} = \sigma_{cm} (1 - 1,64 \delta)$$

en la que:

$\sigma_{ck}$  = resistencia característica.

$\sigma_{cm}$  =  $\sigma_{cm}$ .

$\delta$  = coeficiente de variación.

En estos ensayos se admitió que  $\delta = 0,15$ .

La curva de referencia para el conjunto áridos-cemento establecida en los ensayos previos es la siguiente:

Arido + Cemento	
X	Y
150,0	100,0
76,2	77,3
38,1	60,0
19,0	47,1
9,52	37,6
4,76	30,7
2,38	25,3
1,19	21,4
0,59	18,4
0,297	16,5
0,147	14,7

*Ensayos característicos.* — Para comprobar la idoneidad de las dosificaciones establecidas y del proceso de fabricación, se realizaron al comienzo de la obra en hormigones destinados a obras secundarias.

**REFRIGERACION DEL HORMIGON**

*Características y cálculos térmicos.* — En el año 1968, fecha en que se procedía al estudio de la refrigeración de Quéntar, los precedentes españoles sobre la materia se reducían a las presas de Iznájar, Eume, Valdecañas y Aldeadávila, aunque el hecho estaba ya sistematizado en Suiza, Norteamérica y, en menor grado, en Francia.

Tenía, pues, su estudio un evidente interés, como tienen siempre los primeros pasos de las nuevas técnicas.

Hoy, ocho años después, y con la presa en período de explotación, es interesante recordar el proceso de refrigeración del hormigón, tanto en sus previsiones como en el desarrollo de las mismas.

La latitud de Quéntar es 37° 12' 27".

Se consideró, a efectos de cálculos de temperaturas, definida la estructura por tres planos tangentes, tal como se refleja en la figura 1.

Plano 1, central: 33° Norte-Oeste.

Plano 2, estribo derecho: 87° 45' Norte-Oeste.

Plano 3, estribo izquierdo: 21° Norte-Este.

Se calculó, para los tres planos, la insolación en Kcal/m<sup>2</sup> en las estaciones de otoño-invierno y primavera-verano, diferenciando además si se trataba del paramento de aguas arriba o del de aguas abajo. Ello conducía a la obtención de los valores medios diarios

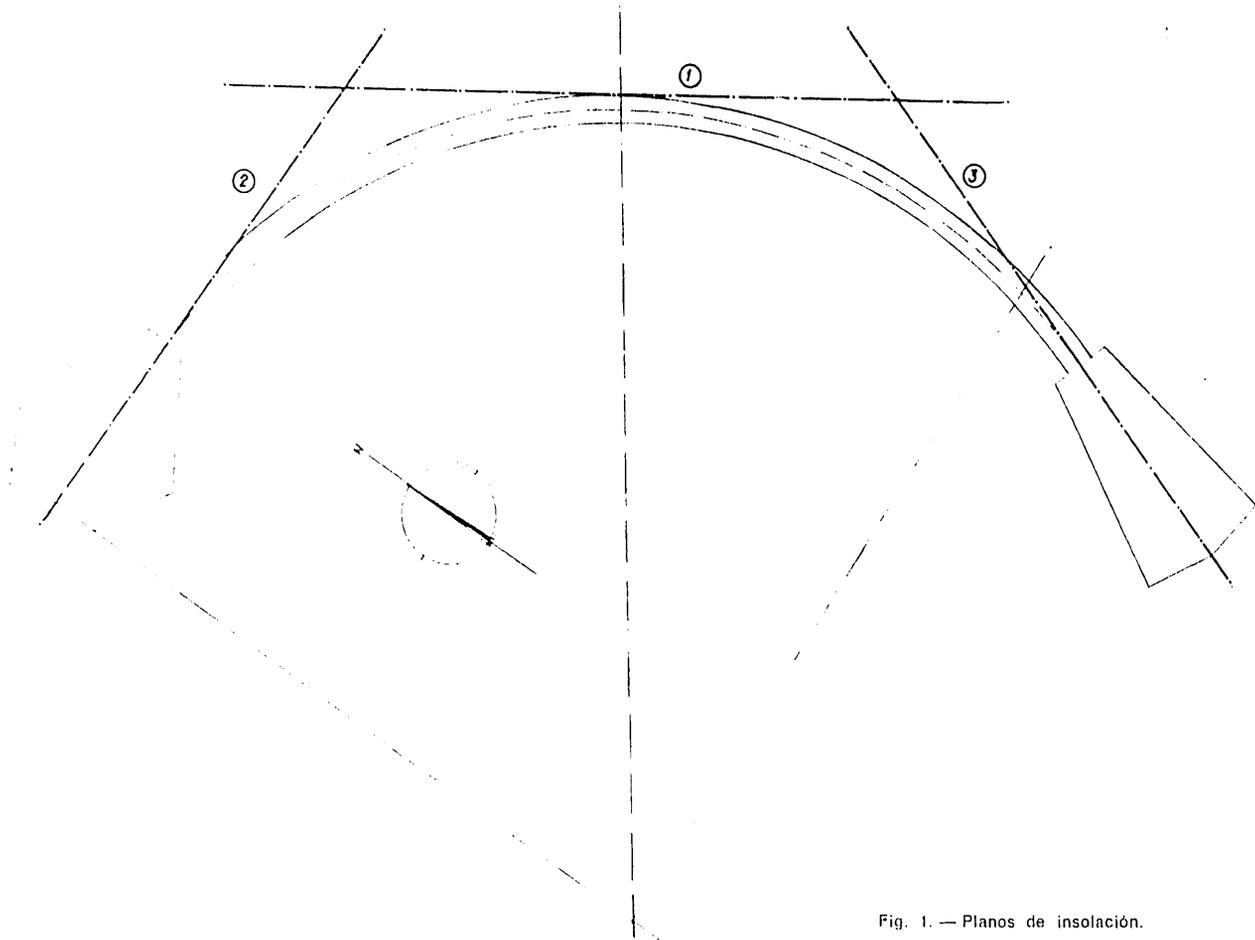


Fig. 1. — Planos de insulación.

y, finalmente, al siguiente cuadro de temperaturas-ambiente.

Plano	Paramento	T. mín.	T. máx.	Amplit.	Media
Central.	A. arriba.	8,3	29,0	20,7	18,6
	A. abajo.	10,3	30,0	19,7	20,2
Derecho.	A. arriba.	8,0	28,5	20,5	18,3
	A. abajo.	12,3	29,4	17,1	20,9
Izqdo.	A. arriba.	9,3	30,0	20,7	19,7
	A. abajo.	10,8	30,3	19,5	20,7

Las pequeñas variaciones que aparecen en cada uno de los tres planos permiten, para este cálculo, obtener los valores medios y operar con uno solo de ellos.

Ello da lugar a que los datos definitivos sean:

Paramento aguas arriba:  
Amplitud, 20,6.  
Temperatura media, 18,9.

Paramento aguas abajo:  
Amplitud, 18,8.  
Temperatura, 20,5.

Y las leyes de variación:

$$\theta_{aa} = 18,9 + \frac{1}{2} \cdot 20,6 \operatorname{sen} \frac{2\pi t}{8760} = 18,9 + 10,3 \operatorname{sen} \frac{2\pi t}{8760}$$

$$\theta_{ah} = 20,5 + \frac{1}{2} \cdot 18,8 \operatorname{sen} \frac{2\pi t}{8760} = 20,5 + 9,4 \operatorname{sen} \frac{2\pi t}{8760}$$

El estado medio del contorno se determina mediante la expresión:

$$\theta_s = \theta_a - \frac{k}{h} \left( \frac{\delta \theta}{\delta x} \right)$$

en que:

$k$  = conductividad.

$h$  = coeficiente de conducción superficial.

$\left( \frac{\delta \theta}{\delta x} \right)_s$  = gradiente térmico particularizado para la superficie.



Foto 3. — Vista de las excavaciones de la presa. En la margen derecha puede observarse la estructura tubular para el bulonado de la presa.

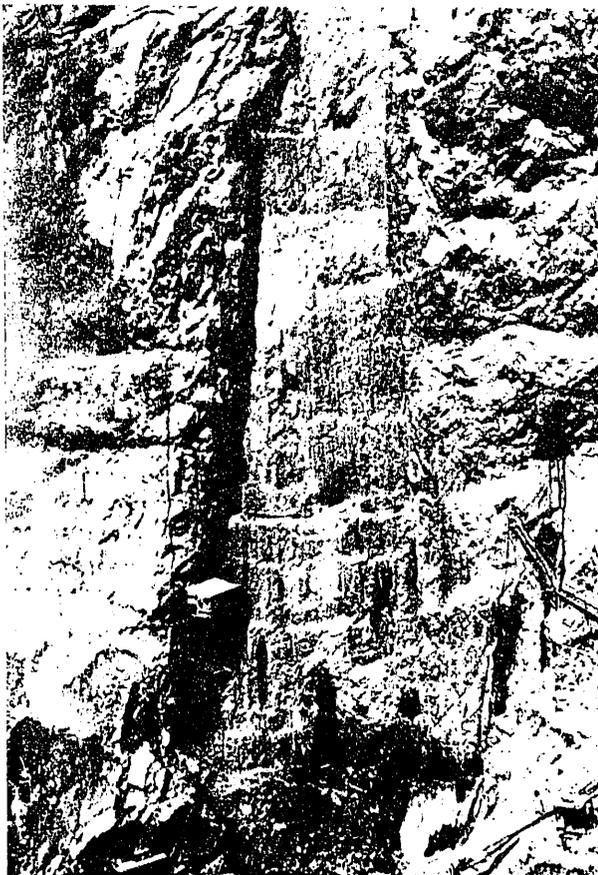


Foto 4. — Excavaciones y bulonado en la margen derecha.

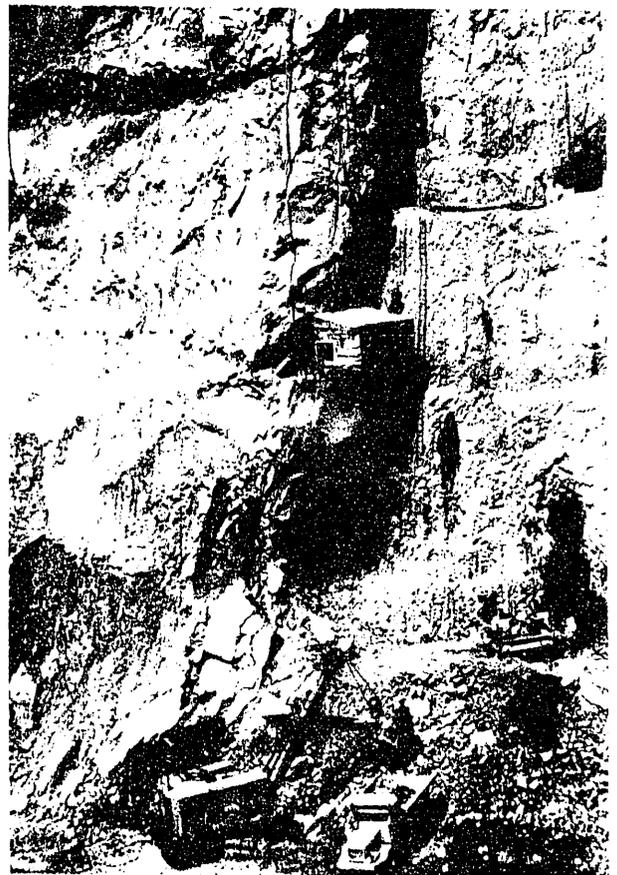


Foto 5. — Detalle del bulonado en el paramento aguas abajo de la excavación, perforando desde la casota que va suspendida del blondín.

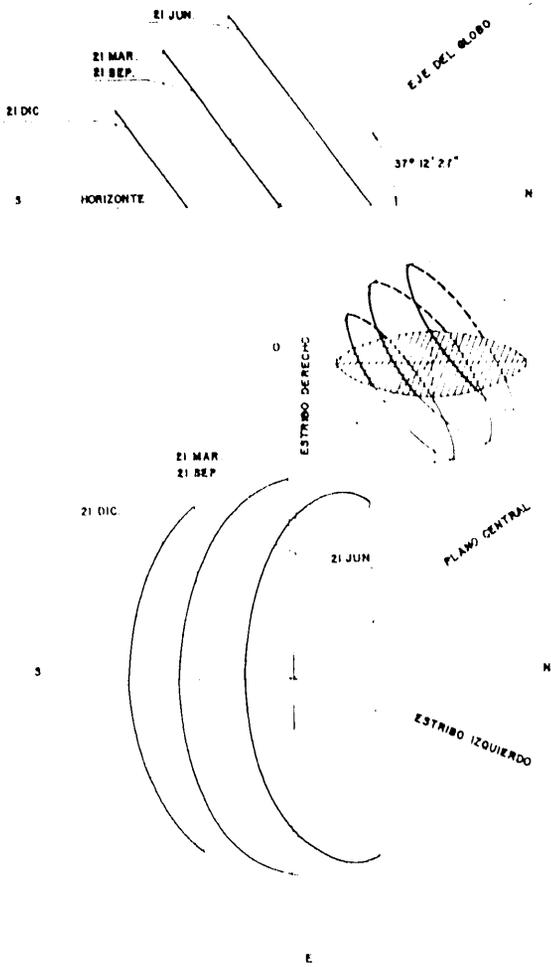


Fig. 2. — Emplazamiento de la presa con relación a los rayos solares.

Tomando  $k = 1.8$ ,  $h = 15 \text{ Kcal/m}^2 \times h \times ^\circ\text{C}$ , resulta  
 $\frac{k}{h} = 0.120$ .

La temperatura local en cada punto de la presa se determina de la siguiente forma: Se aumenta 0.12 m de espesor el hormigón en ambos paramentos, y se adjudican al contorno las temperaturas del medio, es decir, del aire. Supuesto homogéneo el hormigón, el gradiente térmico es constante a lo largo de las líneas de corriente y se puede dibujar el gráfico de isotermas de la figura 3.

Se obtienen también los valores mínimos de la temperatura en la presa como consecuencia de la oscilación anual de temperatura del medio ambiente, que dan lugar a las isotermas reflejadas en la figura 4.

*Temperatura en el hormigón.* — La presa se hormigonó por bloques de 1.50 m de altura y dimensiones, en planta, de 15 x 15. Entre cada dos bloques superpuestos había un espacio de tres días.

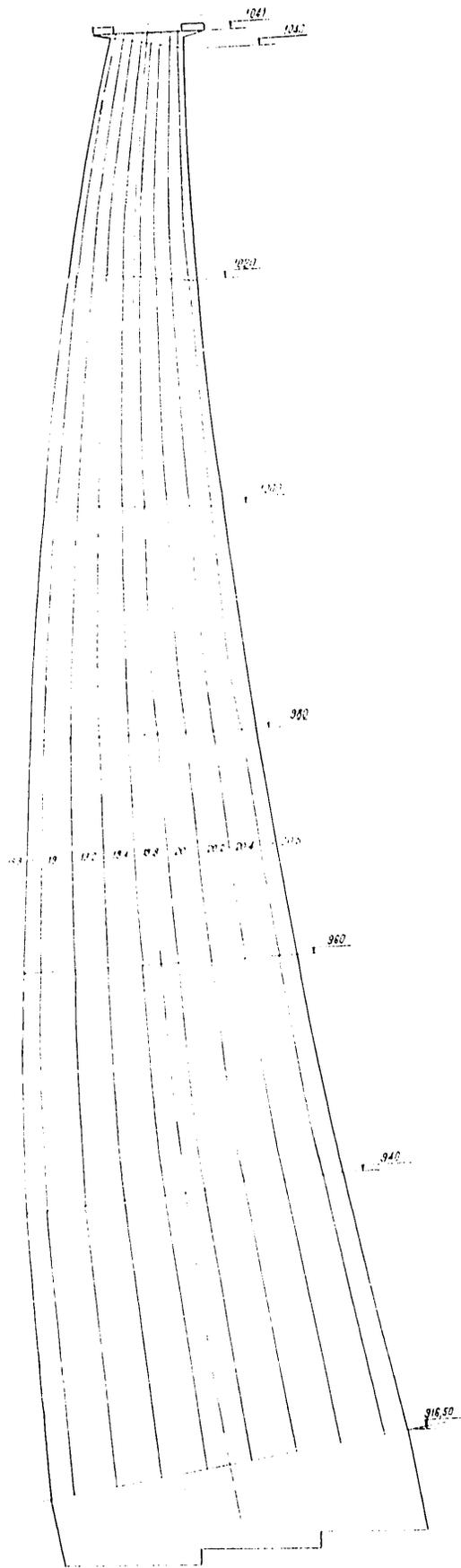


Fig. 3. — Isotermas en la presa.

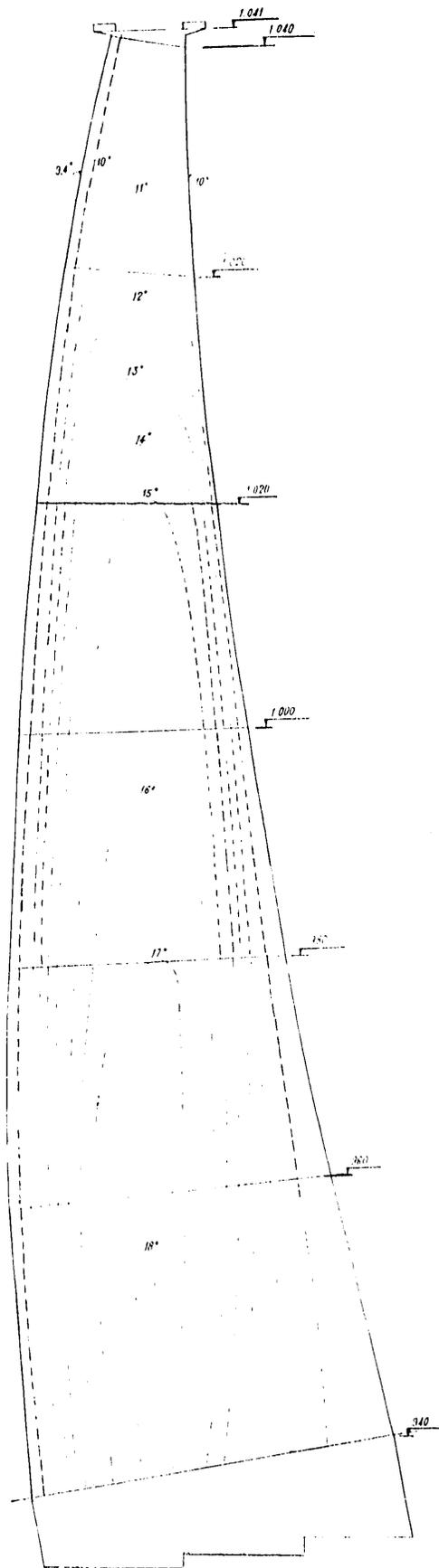


Fig. 4. — Temperaturas mínimas en la presa.

El cemento utilizado tenía un calor máximo de hidratación de 80 cal/gr a los veintiocho días. La capacidad calorífica del hormigón, deducida a partir de los calores específicos de los componentes era de 649,60 Kcal/m<sup>3</sup> × °C. Y la temperatura del cemento se estimó en 60° C en invierno y 70° C en verano. Si la del agua era de 14° C en invierno y 22° C en verano. Si las hormigoneras tenían una capacidad de 1.600 litros, con motor de 40 CV y un régimen de trabajo del 60 por 100 y si, finalmente, desde la hormigonera hasta el bloque se estimaba que el hormigón aumentaba su temperatura en 2,8° C, se obtenía como temperatura de puesta en obra del hormigón en cada estación, la que se refleja en los cuadros siguientes:

*Invierno:*

- Temperatura del árido ..... 8° C
- Temperatura del agua ..... 14° C
- Temperatura del cemento .... 60° C
- Aumento por amasado ..... 475 Kcal/m<sup>3</sup>
- Aumento por transporte ..... 2,8° C

Entalpia en Kcal/m <sup>3</sup>					Capac. calorífica (Kcal/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	
Aridos	Cem.	Agua	Amas.	Total		Salida horm.	Bloque
3.700	4.525	1.570	475	9.795	649,60	15,1	17,9

*Primavera y otoño:*

- Temperatura del árido ..... 18° C
- Temperatura del agua ..... 18° C
- Temperatura del cemento .... 65° C
- Aumento por amasado ..... 475 Kcal/m<sup>3</sup>
- Aumento por transporte ..... 2,8° C

Entalpia en Kcal/m <sup>3</sup>					Capac. calorífica (Kcal/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	
Aridos	Cem.	Agua	Amas.	Total		Salida horm.	Bloque
8.300	4.900	2.010	475	15.210	649,60	23,4	26,2

*Verano:*

- Temperatura del árido ..... 28° C
- Temperatura del agua ..... 22° C
- Temperatura del cemento .... 70° C
- Aumento por amasado ..... 475 Kcal/m<sup>3</sup>
- Aumento por transporte ..... 2,8° C

Entalpia en Kcal/m <sup>3</sup>					Capac. calorífica (Kcal/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	
Aridos	Cem.	Agua	Amas.	Total		Salida horm.	Bloque
12.940	5.275	2.460	475	20.675	649,60	31,9	34,7

De estas temperaturas en los bloques se llegó a las siguientes temperaturas finales de fraguado, que serían las bases del proceso de refrigeración:

Estación	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura final del hormigón (°C)
Invierno .....	8	43,3
Primavera-Otoño .	18	52,2
Verano .....	28	61,2

*Refrigeración.* — Se trata, como objetivo final del proceso, reducir las temperaturas obtenidas en el cuadro anterior a las que se señalan en la figura 4.

Se utilizó agua del río hasta obtener temperaturas del hormigón de 30° C y, a partir de ese valor, agua a 4° C procedente de una planta de refrigeración, obteniéndose así un gradiente de temperatura máximo. Cuando se iniciaba la refrigeración, la temperatura del hormigón era muy superior a los 22° C del agua del río en verano, lo que permitió utilizar económicamente este agua en la primera fase, aliviando considerablemente la carga de la planta frigorífica.

Se instalaron los serpentines, sobre la superficie terminada del hormigón, en bloques alternos y con la disposición que se refleja en la figura 5, siendo su diámetro de 25 mm. Los caudales totales, en función de la altura de presa y, por tanto, del volumen de hormigón a refrigerar, eran:

Cotas	Caudal (l/seg.)
916,5- 940	0,375
940 - 960	0,330
960 - 980	0,270
980 -1.000	0,202
1.000 -1.020	0,147
1.020 -1.040	0,103

La situación más desfavorable se producía en verano. Entonces, en la primera fase, era necesario rebajar la temperatura en el bloque desde los 61,2° C hasta los 30° C. Esto se conseguía en sesenta y ocho días.

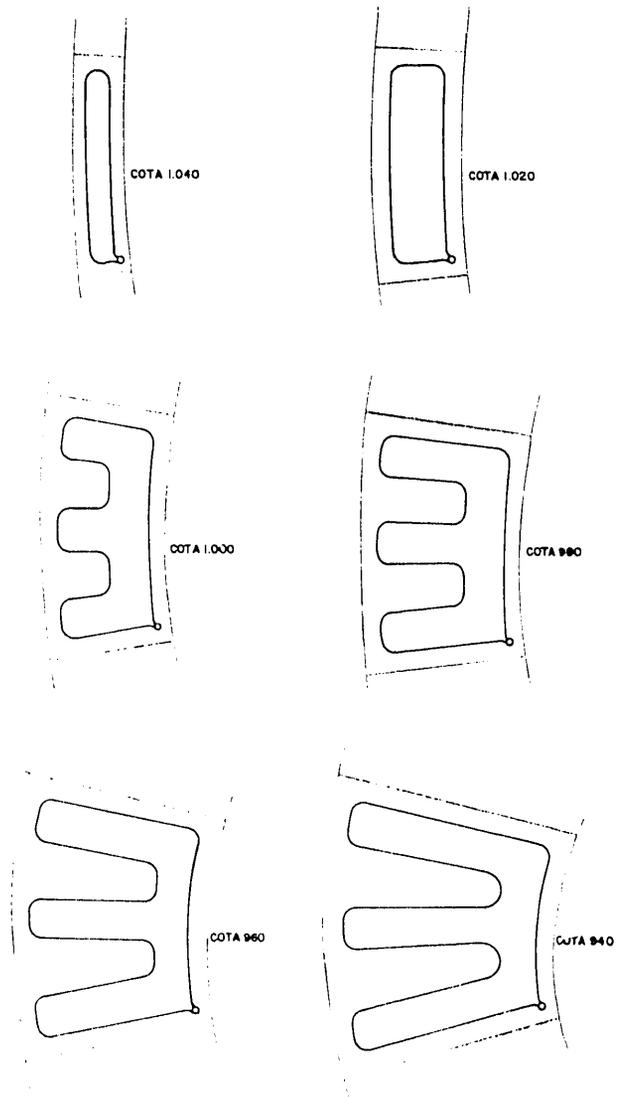


Fig. 5. — Disposición de serpentines.

En la refrigeración final el tiempo necesario hasta llegar a las temperaturas de la figura 4 variaba, según el bloque, entre cuarenta y cinco días (bloques a 18° C) y ciento seis días (bloques a 10° C).

Para la fase inicial bastaba un grupo motobomba de 30 CV, estando formada la red de distribución exterior por tubería de 150 mm de diámetro y la interior por tubería de 125 mm de diámetro.

Para la fase final se montó una planta frigorífica formada por un grupo refrigerador de 60 CV. Una red de distribución, de 125 mm de diámetro en la parte exterior del cuerpo de presa y de 100 mm en su parte interior, llevaba el agua refrigerada a los serpentines.

Toda la red exterior iba aislada térmicamente con plancha de corcho de 38 mm, protegida por cartón embreado.

## DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Las características de la obra, en la que no podían darse grandes puntas de trabajo, pero, en cambio, era de la máxima importancia evitar las interrupciones del mismo, llevaron a unas instalaciones que garantizaran todo lo posible su regularidad y continuidad. Por otra parte, esto permitía, a su vez, un mejor control de la calidad de la obra y, por tanto, establecer a tiempo las oportunas correcciones.

En el programa detallado de hormigonado se deducía una media mensual de 36 m<sup>3</sup>/hora, con medias diarias máximas de 45 m<sup>3</sup>/hora; las instalaciones principales se dimensionaron para unos rendimientos útiles de 200 Tm por hora en machaqueo y clasificación, 60 m<sup>3</sup>/hora en fabricación de hormigón y 70 m<sup>3</sup>/hora en su puesta en obra en las condiciones pésimas de bloque. Ello representa unos coeficientes de seguridad sobre sus rendimientos útiles de 2,1, 1,6 y 1,9, respectivamente; además, una capacidad de ensilado de áridos clasificados para doce días de hormigonado normal.

La instalación de aire comprimido, si bien se había previsto que fuera independiente para la cantera y la presa, se optó finalmente por una estación central para ambas, que a su mayor economía une también una mayor flexibilidad en los puntos de consumo de aire.

Por lo que se refiere al suministro de agua, muy importante y de difícil previsión en cuanto a sus consumos, por deber atender, además de las necesidades del hormigón (fabricación, limpieza y curado), al lavado y clasificación de áridos y a la refrigeración, estaba previsto realizarlo con una elevación desde el río, pero también, finalmente, se adoptó un suministro por gravedad, aun a costa de una larga conducción, con objeto de no limitar sus posibilidades.

## DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES INSTALACIONES

*Necesidades.*— La producción de hormigón prevista era de 350 m<sup>3</sup> de hormigón en jornada de ocho horas. Una granulometría que puede ser representativa sería:

	%	Kg
0- 1	18,2	408
1- 4	10,1	226
4- 12	6,7	150
12- 30	18,9	422
30- 60	20,5	458
60-150	25,6	573
		2.237

*Producción.*— Para poder cubrir las necesidades arriba expuestas necesitamos producir un mínimo diario:

$$2.237 \times 350 = 783 \text{ Tm de áridos}$$

Para obtener esta media de 783 Tm/día necesitamos dimensionar la instalación para una producción de un 25 por 100 más con lo que necesitamos una capacidad de producción de:

$$783 \times 1,25 = 978 \text{ Tm/día}$$

Teniendo en cuenta que existe un precibador que elimina el detritus de cantera en una proporción aproximada del 15 por 100, tendremos que el material necesario en boca de machacadora es de:

$$978 \times 1,15 = 1.125 \text{ Tm/día}$$

### *Elementos de obra (maquinaria):*

*Aire comprimido.*— Disponemos de tres compresores con una producción de 48 m<sup>3</sup>/minuto y una potencia instalada de 450 CV.

Estos tres compresores están centralizados en una sola caseta, desde donde suministramos aire a cantera y excavación de la presa.

El consumo de aire en el 75 por 100 de la duración de la obra fue suficiente con dos compresores, siendo solamente necesario los tres durante la excavación de presa.

### *Cantera:*

*Material de perforación.*— Consistió principalmente en dos martillos ligeros y una perforadora con martillo de fondo y diámetro de 60 mm. El rendimiento de la perforadora fue de unos 40 m/día.

La escuadría era 3,50 × 4 m para una altura de banco de 10 m, con lo que contábamos con una capacidad de arranque en perfil de 3,50 × 4 × 2,40 = 1.344 Tm/día.

El cometido de los martillos ligeros era de taqueo y zapateras.

*Carga de material.*— Disponíamos de una pala cargadora de cable y sobre orugas con una capacidad de cazo de 2 m<sup>3</sup>. Su funcionamiento era eléctrico, a 380 V, suministrado a través de cable rígido P.V.C. enterrado y un cable flexible bajo goma de 100 m de longitud y una sección de 3 × 125 mm<sup>2</sup>. La potencia absorbida por la máquina era de 150 CV. El embrague era magnético, con lo cual su velocidad de giro era grande y no tenía calentamientos y desgastes de ferodos, etc. La capacidad de carga era de 120 m<sup>3</sup>/hora, lo que suponía 960 m<sup>3</sup>/día = 1.536 Tm/día.

El transporte desde el frente de cantera a machacadora se realizaba con dos dumpers de 10 Tm para una distancia media de 300 m.

*Machaqueo primario.*— Los productos de cantera, con un lamaño máximo de un metro cúbico, se vertían en una tolva receptora, de unos 30 m<sup>3</sup> de capacidad.

El material era extraído de esta tolva por un alimentador horizontal de bandejas, con una anchura de 1,30 m y una capacidad de transporte, según velocidad, que se regulaba con un juego de poleas, que iba desde 1,50 Tm/h a 350 Tm/h.

Estos productos de cantera vertían desde el alimentador a precribador de discos, con un diámetro de 600 mm y una separación de 60 mm, con lo cual la piedra que caía en la machacadora iba libre de tamaños menores de 6 cm y de tierra.

Los productos menores de 60 mm que pasaban por el precribador se recogían en una cinta que alimentaba una criba con malla de 30 x 30 mm en verano y de 40 x 40 mm en invierno.

Lo que pasaba por esta criba se tiraba a vertedero y lo que retenía se incorporaba a la cinta general de salida de machacadora.

La machacadora era de martillos, doble rotor, con una potencia de 200 CV; cada rotor disponía de 8 martillos de 100 Kg de peso. La abertura de parrilla era de 150 mm. El rendimiento de esta machacadora, según tamaño de alimentación, oscilaba entre 200 y 350 Tm/h.

*Clasificación de áridos (primario).* — El material 0-150 se extraía de la machacadora con una cinta de 800 mm de banda, interponiendo entre la cinta y la machacadora una tolva de 16 m<sup>3</sup> con una salida regulable, que absorbía las pequeñas oscilaciones en la producción de la machacadora.

Esta cinta de 800 mm de banda alimentaba una pareja de cribas de 6 m<sup>2</sup> y malla de 30 x 30 mm indistintamente, por mediación de un *by-pass*. Solamente funcionaba una, siendo la otra de repuesto, con lo cual conseguimos que no incidiera ni una sola hora de parada a causa del cribado en todo el tiempo que duró la obra.

De esta criba salían dos cintas, una de 600 mm para el tamaño 30-150 y otra de 500 mm para el tamaño 0-30 mm. Estas cintas alimentaban dos silos de montón de 16 m de altura, con lo que obteníamos una capacidad

de ensilado de 4.000 Tm de 0-30 y 30-150 mm, respectivamente, que nos permitía una autonomía de  $8.000/1.125=7$  días punta de hormigonado.

Estos dos montones, de un diámetro en base de unos 25 m y prácticamente tangentes, estaban situados sobre una galería de extracción de 2,50 m de anchura y 2,50 m de altura.

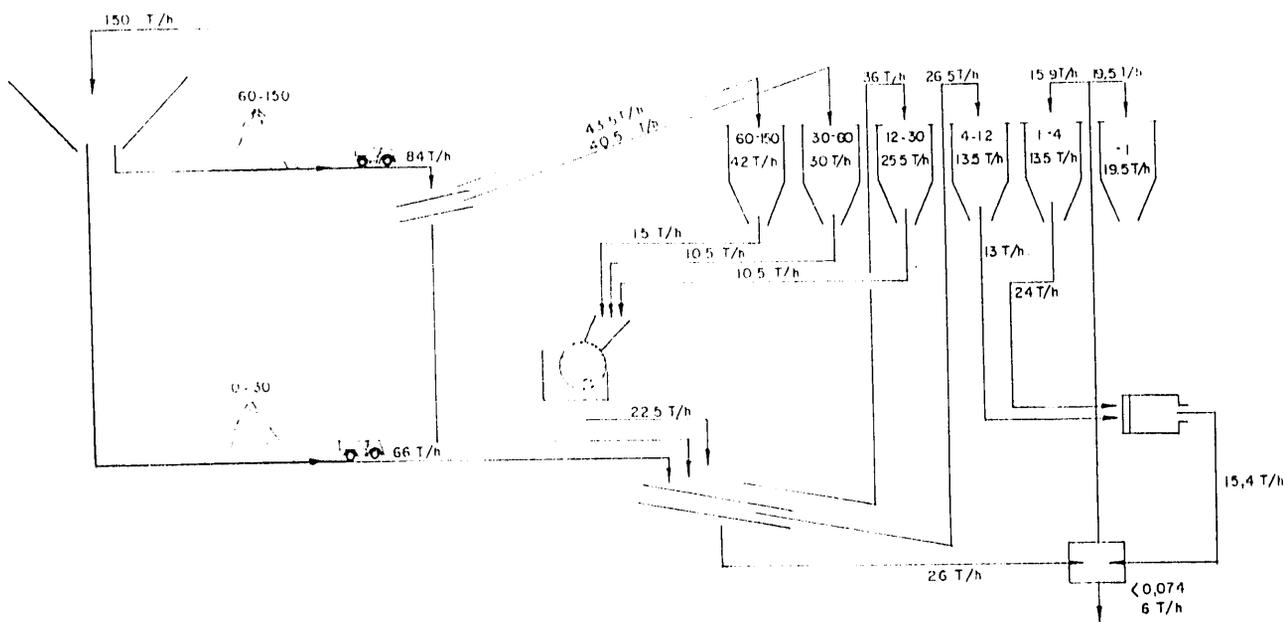
La galería de extracción disponía de cuatro boquillas de extracción para el tamaño 0-30, y otras cuatro para el tamaño de 30-150.

Estas boquillas, que se accionaban con mando a distancia, vertían sobre una cinta horizontal de 800 mm. Esta cinta de 800 mm salía hasta el exterior y vertía sobre otra cinta inclinada que alimentaba a dos tolvas gemelas de 14 m<sup>3</sup> cada una mediante un *by-pass*. Una tolva era para el tamaño 0-30 y la otra para el tamaño 30-150. Estas tolvas estaban dispuestas de forma que un camión pudiese situarse debajo y cargarse mediante una boquilla de 300 x 600 mm.

*Explotación.* — A la hora de proyectar esta instalación se ha prestado especial atención en el ahorro de mano de obra, disponiéndola de tal manera que se le pudiese aplicar el mayor grado de automatismo, para lo cual se dispuso de una caseta de mando desde la cual se podía ver alimentador de machacadora, cribas y cintas.

En un pupitre se disponía de los mandos para poder accionar todos los motores de que constaba la instalación. Un amperímetro para machacadora nos permitía saber en cada momento la carga óptima a que se podía someter, obteniendo mejor rendimiento.

En las tolvas de carga existía otra caseta de mando desde donde se accionaban la cinta horizontal de extrac-



ESQUEMA DE PRODUCCION DE ARIDOS

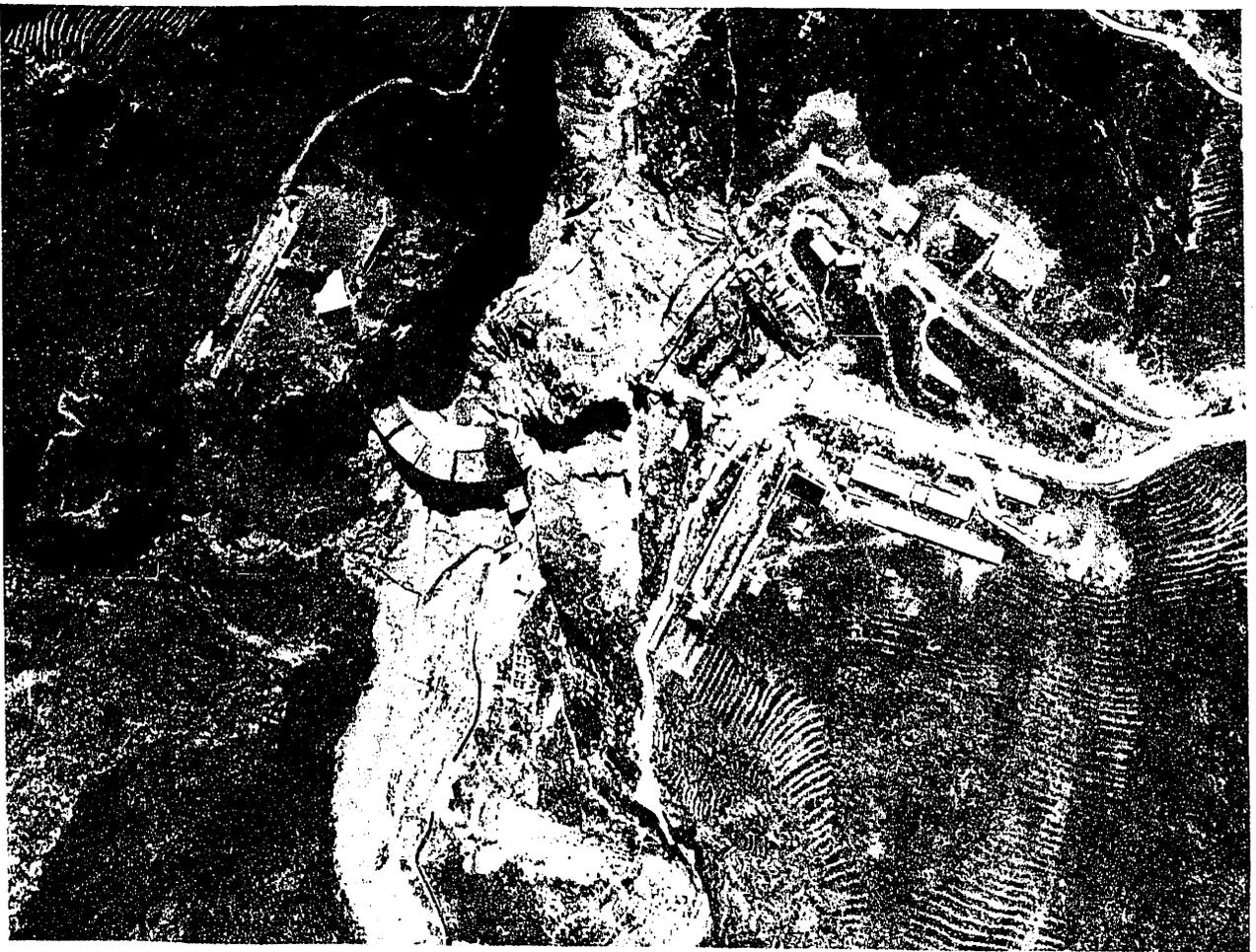


Foto 6. — Principio de hormigonado y vista en planta de las instalaciones.

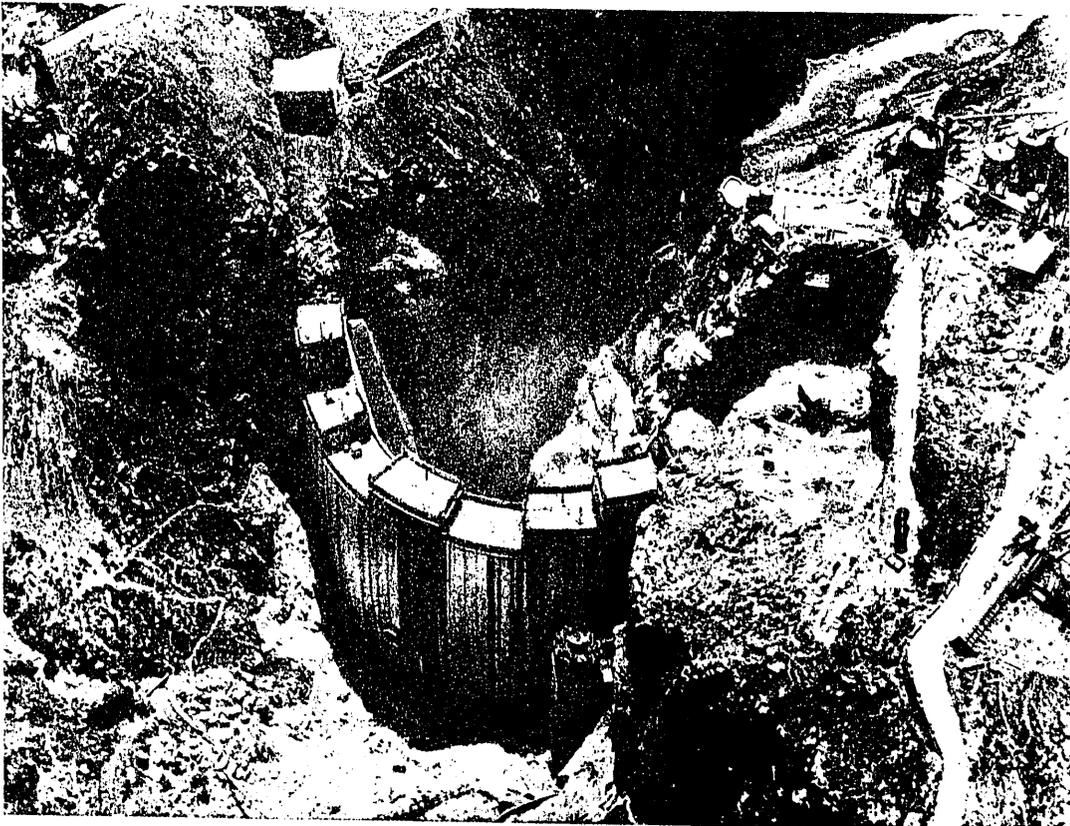


Foto 7. — Hormigonado de la presa y arranque de la torre de toma. Puede observarse también el túnel para el aliviadero.

ción, cinta de carga a tolvas, las boquillas de la galería de extracción y las boquillas de las tolvas.

Estas tolvas de carga de camiones estaban justificadas por la distancia tan corta a recorrer los camiones, 3 Km ida y vuelta y quince minutos de tiempo. Se tardaba directamente con cinta tres minutos y cargando con tolva cuarenta y cinco segundos, con lo que ganábamos dos minutos quince segundos, que equivalía al 16 por 100 del tiempo total.

El total de personal era de tres hombres, uno en caseta mando general, otro en caseta mando tolvas y otro en limpieza y entretenimiento.

El rendimiento era  $\frac{3 \times 8 \text{ horas}}{1.125 \text{ Tm}} = 0.02 \text{ horas por tonelada}$  triturada, clasificada (dos tamaños) y cargada sobre camión.

#### Secundario.

*Clasificación y ensilado.*— Los camiones procedentes del primario vierten en dos tolvas de 15 m<sup>3</sup>, una para el tamaño 30-150 y la otra para el tamaño 0-30. De cada una de estas tolvas salen dos cintas que alimentan sus respectivas cribas, situadas en la parte superior de las tolvas de clasificación.

La criba del tamaño 0-30 tenía dos paños con malla de 12 y 4 mm, con lo que obteníamos un 0-4, 4-12 y 12-30, que ocupaban tres tolvas de las cinco que disponíamos.

El tamaño 30-150 vertía en una criba de un paño de malla de 60 mm, con lo que obteníamos el 30-60 y 60-150, que ocupaban las dos tolvas restantes.

Estas cinco tolvas, con una capacidad cada una de ellas de unas 64 Tm, estaban situadas en línea. Debajo de ellas había dos cintas horizontales, una que recogía los tamaños 12-30, 30-60 y 60-150 y lo llevaba a dos molinos de martillos de una producción de 30 Tm/h y 75 CV de potencia, equipados con parrillas de 10 mm, con lo que obteníamos arena y equilibramos la producción de estos tamaños. La otra cinta horizontal que funcionaba en sentido opuesto, tenía el mismo fin que la anterior, pero recogiendo los tamaños 5-12 y 0-5 y llevándolo a un molino de barras de 75 CV de potencia, que obtenía unas 10 Tm/h de arena menor de 1 mm.

Cada una de estas tolvas, además de su boquilla de extracción para alimentar las cintas horizontales a molinos, disponía de otra boquilla para alimentar sus respectivas cintas, encargadas de llevar el material a sus silos.

Los silos de que disponíamos eran cuatro, excavados en el terreno y recubiertos de hormigón, con una capacidad de 850 Tm para el tamaño 60-150, de 580 Tm para el tamaño 30-60, de 580 Tm para el tamaño 12-30 y 432 Tm para el tamaño 4-12. Estos silos disponían de una galería de extracción, con cinta de 500 mm.

Los silos de arena eran cuatro de 80 m<sup>3</sup> para la arena 1-4 y cuatro de 150 m<sup>3</sup> para la arena 0-1.

Disponíamos de un ensilado total de unas 4.000 Tm, con lo que disponíamos de una reserva distribuida de la siguiente forma.

#### Capacidad de ensilado.

Tamaño	Toneladas	Toneladas para 350 m <sup>3</sup> hormigón	Reserva para 350 m <sup>3</sup> /día Días
60-150	850	200	4,25
30-60	580	160	3,62
12-30	580	147	3,94
4-12	430	52,5	8,19
1-4	510	79	6,45
0-1	960	142	6,76

Con toda la instalación de arena parada podíamos hormigonar durante una semana.

*Lavado de áridos gruesos.*— El lavado del tamaño 0-30 se hacía mediante una rampa de lavado interpuesta entre vertido de cinta y criba con una inclinación de 30°, 70 m<sup>3</sup>/hora de agua a una presión de 3 Kg/cm<sup>2</sup>.

La criba estaba equipada con un equipo de surtidores a 3 Kg/cm<sup>2</sup> de presión y un caudal de 50 m<sup>3</sup>/hora.

El lavado del tamaño 30-150 se hacía mediante surtidores en la criba con una presión de 3 Kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de 70 m<sup>3</sup>/hora.

*Lavado y clasificación de arenas.*— La criba alimentada con el tamaño 0-30 pasaba por su última malla de 4 mm la arena y el agua procedente de la rampa de lavado y de sus surtidores, lo que hacía un total de 120 m<sup>3</sup>/hora de agua y unas 40 Tm de arena.

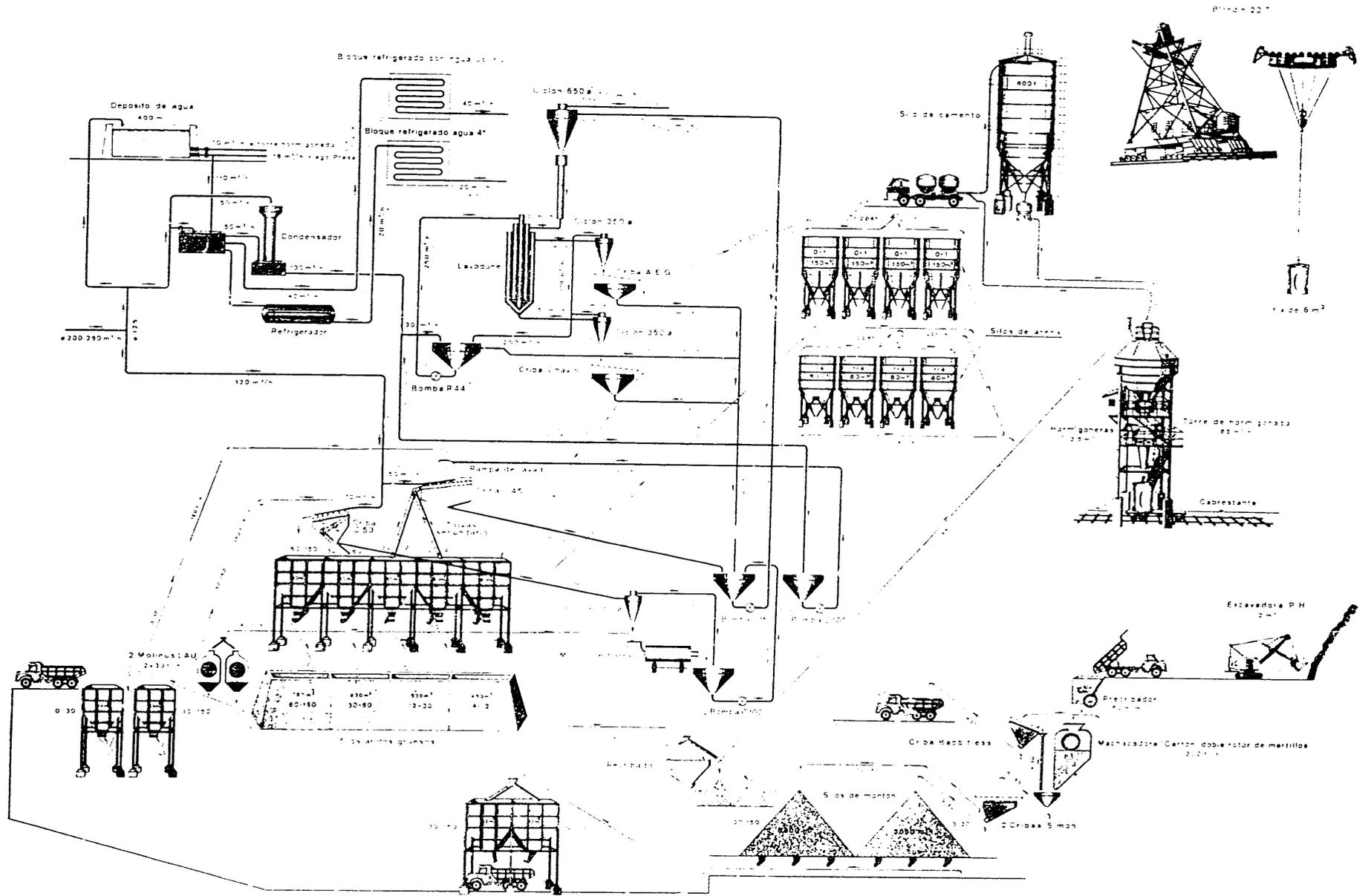
Esta arena 0-4 y los 120 m<sup>3</sup>/hora de agua se llevan por gravedad a una tolva general de arena + agua.

El árido triturado por el molino de barras caía, junto con 3 m<sup>3</sup>/hora de agua necesaria para moler por vía húmeda, a una tolva de arena + agua a la que se le añadía 70 m<sup>3</sup>/hora de agua procedente de los surtidores de la criba del 30-150, necesarios para poder bombear esta arena a tolva general de arenas + agua. Esto lo hacíamos mediante bomba con carcasa forrada de goma de 12 CV.

Una vez recogidas las arenas con su agua procedente de la criba del 0-30 y del molino Rolobar, nos encontrábamos con un caudal de arena de unas 40 Tm/hora, 190 m<sup>3</sup> de agua procedente de cribas más 60 m<sup>3</sup> de agua procedente de la instalación Lavodune, lo que hacía un total de 230 m<sup>3</sup>/hora de agua.

Estos 230 m<sup>3</sup> de agua más las 40 Tm/hora de arena 0-5 se bombeaban, mediante una bomba de 50 CV con carcasa forrada de goma y una presión de 3 Kg/cm<sup>2</sup>, a un ciclón de Ø 650 situado a 12 m de altura, donde se ciclona esta mezcla de agua y arena, tirándose 200 m<sup>3</sup>/h de agua más todos los finos inferiores a 0,08 mm, con lo cual ya quedaba lavada la arena.

Esta arena 0-5, con 30 m<sup>3</sup>/h de agua, pasaba al lavodune para clasificarse en 0-1 y 1-4. Este lavodune consiste en un recipiente tubular hermético que lleva alojado



ESQUEMA DE INSTALACIONES

en su interior un tubo por donde llega la arena + agua. Mediante una bomba que envía a este recipiente 500 metros cúbicos de agua en circuito cerrado, crea una corriente ascendente de agua entre la pared del recipiente y la pared del tubo, con lo que en función de esa velocidad de agua, que es regulable, arrastra, en este caso, todos los tamaños menores de 1 mm.

Una vez separados los tamaños van con su agua correspondiente a sus ciclones respectivos que tienen como misión reponer casi la totalidad del agua a la criba de agua del circuito cerrado de clasificación.

De los ciclones pasan el 1-4 con 30 m<sup>3</sup> de agua a una criba con malla de 1 mm y 3,50 m<sup>2</sup>, con lo que elimina el agua menos un 12 por 100 aproximadamente que va con la arena.

Mediante una cinta y un triper alimenta la batería de cuatro silos de 80 m<sup>3</sup> cada uno.

El 0-1 con unos 10 m<sup>3</sup>/hora de agua van a una criba de vibrador eléctrico y malla de 0,1 mm que elimina el agua menos un 12 por 100 que va con la arena.

Mediante una cinta y un triper se alimenta la batería de cuatro silos de 150 m<sup>3</sup> cada uno.

Para evitar que por deterioro o envejecimiento de las cribas de malla de 1 mm y la malla 0,1 puedan perderse tamaños finos, se recogen mediante dos tolvas situadas debajo de cada una de las cribas, el agua y los tamaños finos que hayan podido pasar y lo llevamos a la cuba general de arena + agua, con lo que vuelve a reciclar.

De esta forma todo el agua que se tira más el polvo, sólo sale por el ciclón de  $\phi$  650 mm, con lo cual es fácil de controlar y de regular evitando tirar ningún tamaño de los próximos al 0,08, que son los más fáciles de perder.

*Explotación.* — Los mandos estaban centralizados en una caseta montada a 5 m de altura, con lo que se dominaba toda la instalación. Desde esta caseta de mando se accionaban todas las cintas, cribas, molinos, bombas de arena, etc., llevándose el control mediante amperímetro de los molinos.

En esta torre se recibían las señales indicativas del tamaño que sucesivamente iban necesitando.

El personal necesario era de:

- 1 hombre caseta mandos.
- 1 hombre galería áridos gruesos.
- 2 hombres limpieza y entretenimiento.

*Torre de hormigonado.* — La torre de hormigonado estaba equipada con dos hormigoneras con capacidad útil de amasado de 1,8 m<sup>3</sup> y una producción de 65 m<sup>3</sup>/hora.

Dispone de seis silos radiales de áridos de unas 10 Tm de capacidad y uno central para unas 20 Tm de cemento. La pesada era acumulativa para los seis áridos e independiente para el cemento y el agua. Su pesaje era electrónico por extensómetros en básculas y potenciómetros en los diales. Tenía posibilidad de cuatro do-

sificaciones en automático y un medidor de humedad para las arenas. Su alimentación se hacía mediante una cinta de 500 mm que vertía sobre canaleta giratoria; el cemento mediante tornillo sin fin desde silo de 600 Tm a elevador. Las hormigoneras vertían sobre una tolva de 6 m<sup>3</sup>. Los aditivos se suministraban a la torre desde los mezcladores situados fuera, mezclado con agua y por gravedad.

*Explotación.*

- 1 hombre en canaleta giratoria.
- 1 hombre en telemando.
- 1 hombre en piso de báscula en limpieza y entretenimiento.

*Transporte de hormigón.* — El hormigón se recoge en la tolva de la torre en balde de 6 m<sup>3</sup> que va equipado con un calderín de 100 litros para aire comprimido, que le permite accionar su pistón de cierre y vaciarse en treinta segundos. Este balde se transporta sobre una mesilla, con capacidad para dos baldes, sobre vía y movida por un cabrestante de 15 CV con una velocidad de 0,75 m/seg. Esta vía tiene una longitud de 100 m, suficiente para batir la presa.

Una vez la mesilla situada debajo de la vertical del gancho del blondín, se procedía a dejar el balde vacío, desenganchar y enganchar el lleno; el balde pesa 4 Tm más 14 Tm de hormigón; su peso total es de 18 Tm.

El blondín que transporta este balde de 18 Tm hasta el bloque de presa consta de dos torres móviles de una altura de 24 m la de cabeza y 18 m la de cola. La distancia entre torres es de 258 m. El cable carril es de 76 mm  $\phi$ , con el que podíamos llegar a una tensión horizontal de 160 Tm. La velocidad de elevación es de 1,32 m/seg y la de traslación de 6,6 m/seg.

El cabrestante de elevación era independiente del de traslación, aunque accionado por el mismo motor de 400 CV. El motor de traslación de cada una de las torres era de 75 CV y su mando se hacía de ambas torres desde la torre de cabeza. Se alimentaba con un cable flexible a 5.000 V, que alimentaba a un transformador incorporado de 5.000/380 en la torre de cabeza.

Con este blondín se hormigonó toda la presa sin recurrir a otros medios auxiliares, hormigonando además una torre de toma de 90 m de altura, de ellos 80 m con encofrado deslizante, en diecinueve días.

Los 4,70 m diarios de elevación necesitaban 120 m<sup>3</sup> de hormigón diario, que eran colocados sin interrupción.

*Explotación.*

- 1 hombre en cabrestante.
- 2 hombres en vía de cazos.
- 1 señalista.
- 1 maquinista de blondín.
- 1 auxiliar en entretenimiento.

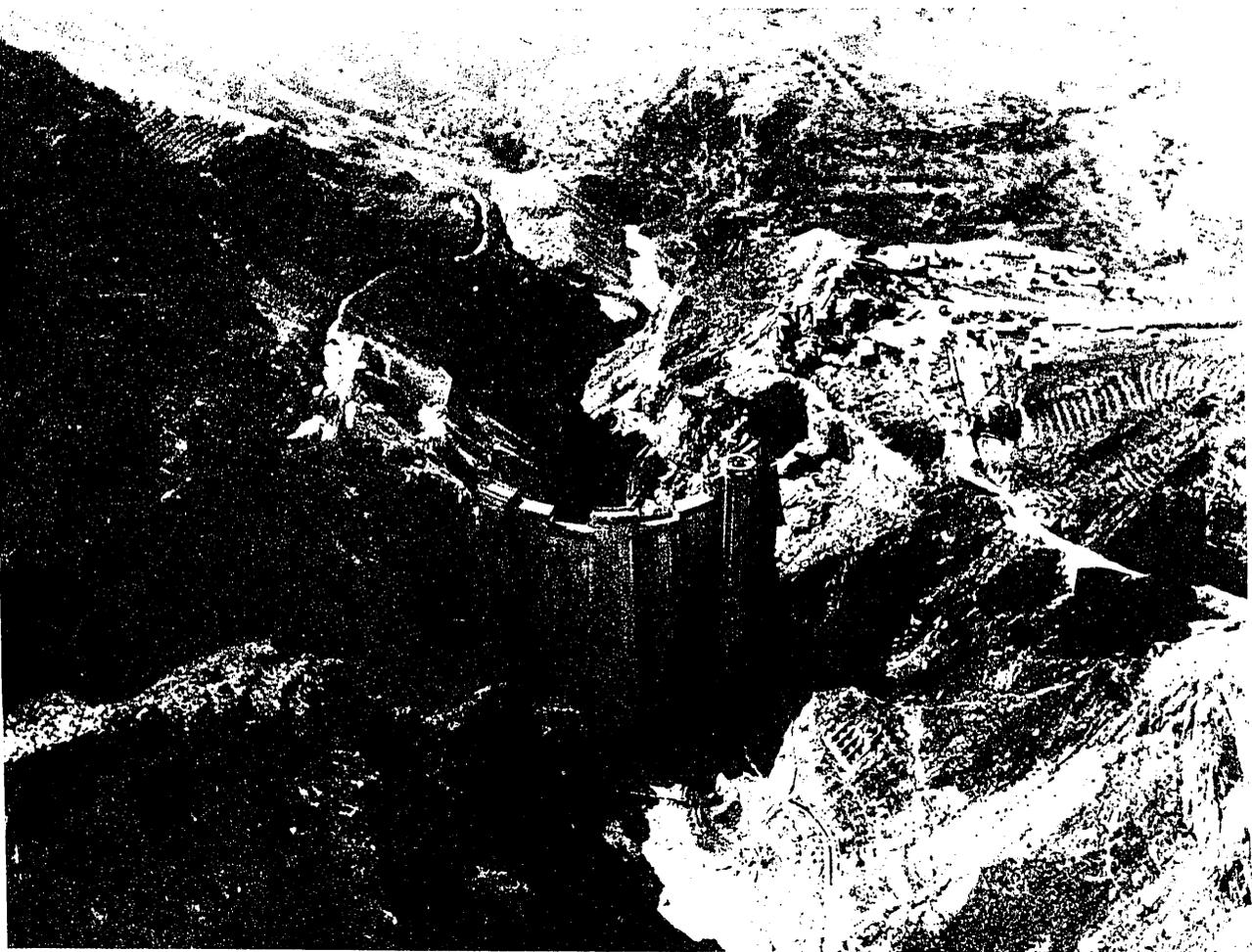


Foto 8. — Torre de toma terminada.



Foto 9. — Vista desde aguas abajo.

*Obras previas.* — Como ya se ha indicado consistían éstas en el acondicionamiento del acceso por el camino vecinal a La Peza y las de desvío del río. Al mismo tiempo se iniciaron los trabajos correspondientes a la obra civil de las instalaciones y se procedió a la apertura de una pista que diera acceso a vehículos pesados a la coronación del estribo izquierdo.

El acondicionamiento del camino vecinal consistía en la mejora de trazado y firme en los 9 Km que discurren por la margen derecha del río, desde la carretera de Granada a Sierra Nevada hasta la ubicación de la presa; la parte más urgente de los trabajos correspondía al tramo en variante para evitar el paso del pueblo de Quén-tar, cuya travesía no permitía el paso de los grandes vehículos necesarios para el transporte de la maquinaria pesada. Con este camino se accedía a la coronación de la presa en su margen derecha y, kilómetro y medio antes de llegar a ella, se daba acceso a la cantera; desde el mismo se abrió una pista que permitía bajar al cauce del río la maquinaria de excavación.

Quedaban de esta forma perfectamente comunicados todos los centros de trabajo e instalaciones más importantes de la obra, con la excepción de la coronación en su margen izquierda. Ante las dificultades que el acceso directo presentaba por lo abrupto de la cerrada, se optó por acceder desde el pueblo de Güejar-Sierra, ensanchando en unos 5 Km una pista ya existente y prolongándola en otros 6 Km hasta llegar al emplazamiento proyectado para la torre de cola del blondín.

*Desvío de río.* — La gran profundidad de acarreo en las zonas próximas a la cerrada hacía prácticamente inviable, por coste y plazo, la construcción de una ataguía cercana a la presa. Aprovechando la existencia de un antiguo canal construido a finales del siglo pasado, por una compañía dedicada a la busca de oro en las arenas del Genil, y luego abandonado, en el proyecto se preveía su reacondicionamiento para desviar las aguas del río.

Se construyó una pequeña ataguía de labio libre, de 9 m de longitud por 2 m de altura, apoyada en una losa de hormigón de 1,20 m de espesor, bajo la que se consolidaron por inyección los acarreo que en esa sección tenían 5 m de espesor.

A partir de este punto, y hasta llegar a la cerrada, en unos 700 m, se acondicionó el canal aumentando su capacidad hasta 6 m<sup>3</sup>/seg. El paso de la cerrada, donde las excavaciones de la presa destruían el canal, se hizo mediante un túnel de 2,50 × 3,00 y 170 m de longitud; a este túnel se incorporaban directamente las aguas del arroyo Tintín, que por tener su confluencia aguas abajo de la ataguía no eran recogidas en la misma.

*Túnel de toma.* — Terminada la perforación del túnel de desvío los mismos equipos prosiguieron con la perforación de éste, cuyo emboquillado se había realizado al mismo tiempo que el de aquél. Aunque este trabajo en sí no tenía importancia en el tiempo, debía hacerse sin

demora, ya que desde él se acometía la perforación del pozo de acceso a las galerías. Tanto este túnel como el de desvío se atacaron únicamente por su boca de aguas abajo.

7

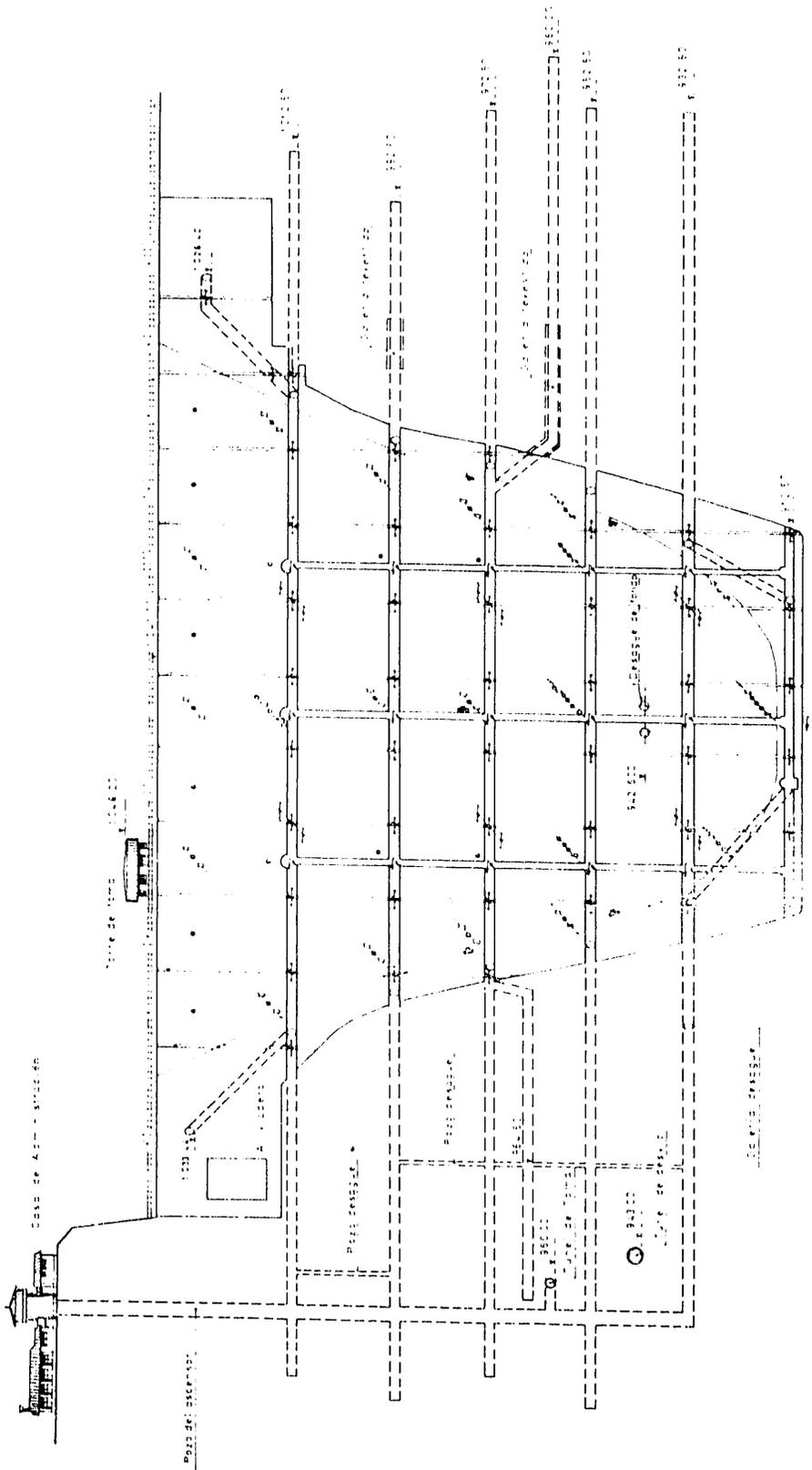
*Galerías horizontales y pozo de acceso.* — Con objeto de independizar lo más posible las excavaciones de la presa, las galerías en la margen derecha se atacaron desde el pozo de acceso a las mismas. La perforación del pozo se hizo de abajo a arriba, atacándole desde el túnel de toma con un equipo Alimak y su ensanche y revestimiento desde la parte superior; posteriormente se hizo el tramo que quedaba por debajo de dicho túnel. Desde el mismo, utilizando la misma plataforma que sirvió para el ensanche y revestimiento, se inició y prosiguió la perforación de las galerías hasta llegar a la excavación de la presa, realizando simultáneamente cada equipo el trabajo correspondiente a los de ellas.

*Instalaciones auxiliares.* — Iniciadas simultáneamente, como ya se ha dicho, con las obras previas, se habían dividido en dos partes, en su planificación, atendiendo a la situación topográfica de las mismas en relación con la presa. En las inmediatas a la cerrada: blondín, vía de cazos, fabricación de hormigón y machaqueo secundario (parcialmente) se consideró su obra civil formando parte del mismo plan que para las excavaciones de la presa; las restantes tenían un desarrollo independiente, ya que no se interferían sus trabajos.

Entre estas últimas se concedió un especial interés y prioridad a la cantera y machaqueo primario, ya que se deseaba conocer lo más pronto posible la calidad de los áridos. Se comenzó realizando una campaña de sondeos hasta 50 m de profundidad, en base a los cuales se delimitó la zona de explotación, que se distribuyó en dos bancos de 15 m de altura cada uno. En los mismos ya se pudo apreciar que entre las calizas existían intercalaciones de margas, si bien nada hizo suponer entonces que alcanzarían la importancia que luego llegaron a tener. A continuación se procedió a la limpieza de la montera y apertura del frente, aprovechando parcialmente estos primeros áridos para los afirmados de camiones y fábricas de las instalaciones, al tiempo que se ajustaban las dosificaciones definitivas y, de acuerdo con ellas, el machaqueo secundario, en particular los elementos de fabricación y lavado de arena.

Las instalaciones correspondientes a los suministros generales: energía eléctrica, agua y aire comprimido, albergues, oficinas, almacén y talleres, se desarrollaron en los primeros cuatro meses, utilizando módulos prefabricados para sus edificaciones, y se prolongaron otro tanto la terminación de los edificios correspondientes al laboratorio y viviendas que, por su carácter definitivo, se construyeron de fábrica.

*Excavaciones.* — Dada la abrupta topografía de la cerrada, resultaba prácticamente imposible trabajar simultáneamente a cotas distintas por el grave riesgo que suponía para el personal situado en la inferior. Tanto esto, como las características de la presa, obligaban por tanto



- Límite aritmético normal
- Límite de Clima
- Límite
- Límite en el terreno
- Límite en el agua
- Límite en el aire
- Límite aritmético
- Límite aritmético

ALZADO DESARROLLADO

a realizar totalmente las excavaciones antes del comienzo del hormigonado; en toda la zona de la presa las excavaciones se hicieron con precorte. Por otra parte, la gran mayoría del escombros debía cargarse y extraerse por el cauce del río, ante la imposibilidad de establecer pistas intermedias de acceso; sólo en el correspondiente a instalaciones y estribos de la presa podía cargarse directa, y aun así, sólo parcialmente. La escombrera principal se dispuso aguas abajo de la cerrada en la margen izquierda del río.

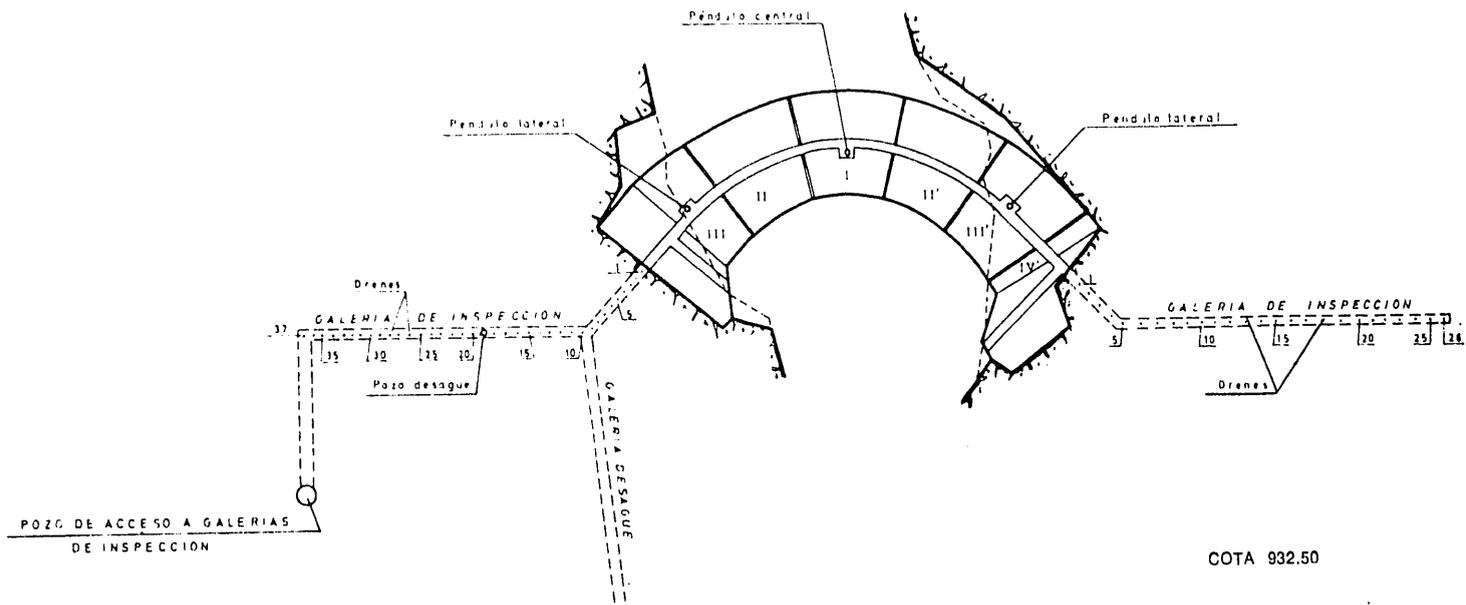
El equipo de maquinaria que se dispuso fue, reforzado, el mismo que más tarde habría de trabajar en la cantera. La perforación de arranque se confió a dos vagones Stenuick equipados con martillos de fondo ASB-20 Record y cuatro equipos Atlas Bencher; la perforación del precorte a dos chasis Tampella, especialmente preparados para este fin, equipados con dos martillos Tamprock 300 cada uno y la extracción de escombros en el río con una pala PH-955, de motor eléctrico, y dos dumper Koering de 15 Tm; aproximadamente desde la cota 1.000 para abajo la puesta en lugares de trabajo de las perforadoras pesadas se hacía con el blondín (cuyo montaje se anticipó por esta razón), al cual también se encomendó la extracción de los escombros de la fase final de la excavación del cauce del río, al que resultaba imposible el acceso de los dumpers.

Se iniciaron las excavaciones simultáneamente en ambos estribos por las plataformas de los blondines; se proseguía en la margen derecha con las explanaciones de torre de hormigonado y vía de cazos y a continuación con el estribo propiamente dicho y la excavación a cielo abierto del aliviadero de superficie; el menor volu-

men de excavación en el estribo izquierdo se compensaba en tiempo con el requerido en la plataforma del blondín de forma que se iniciaban prácticamente a la vez las excavaciones por debajo de la cota 1.000. Los taladros de precorte se daban con una separación de 25 cm y 5 m de longitud, siendo la carga empleada del orden de 200 gramos/m.l.; en ocasiones, en zonas donde la roca se encontraba más alterada, se reducían a 20 cm y 150 gramos su separación y carga respectivamente. En una parte importante de los laterales aguas arriba de la excavación fue necesario establecer una protección de malla que recogiera las pequeñas piedras que podían desprenderse y ser causa de accidentes; cuando en alguna zona de la misma se acumulaban en número excesivo se retiraban utilizando las bandejas del blondín.

Entre las cotas 1.003 y 922 se presentó un fenómeno de descompresión de la roca en la cerrada aguas abajo de la excavación. Para evitar los posibles deslizamientos se bulonó, simultáneamente con la excavación, una zona de 25 m en ambas márgenes entre las citadas cotas; posteriormente se bulonó también la cara aguas abajo de la excavación. Los bulones, de 30 a 35 Tm, se distribuyeron con una separación de 2 m en filas cada 3 m de altura; su profundidad era de 15 a 25 m y las cargas distribuidas variaron entre 5 y 11,7 Tm/m<sup>2</sup>.

Para su ejecución se preparó una caseta especial desde la cual, suspendida del blondín, se perforaban los taladros correspondientes a dos bulones simultáneamente; para los situados en los 18 m inferiores se dispusieron sendos andamios metálicos, con anclajes a la roca, y plataformas de trabajo cada metro y medio. No es necesario señalar los inconvenientes e incomodidades de este tra-



bajo, en particular el realizado desde el blondín; el acceso al punto de trabajo sólo era posible mediante el mismo, debía realizarse suspendidos de él, y su precisión de movimiento, aunque elevada, no es tanta que permita situarlo para proseguir un taladro ya iniciado. Por tanto, una vez iniciada una pareja de bulones debía continuarse hasta terminarlos, ante un corte en el suministro eléctrico no había otra posibilidad que esperar a su solución, etc. Por ello no queremos dejar sin mencionar aquí el espíritu de trabajo y comportamiento ejemplares que observó todo el personal desplazado por la empresa Rodio que se encargó de su realización.

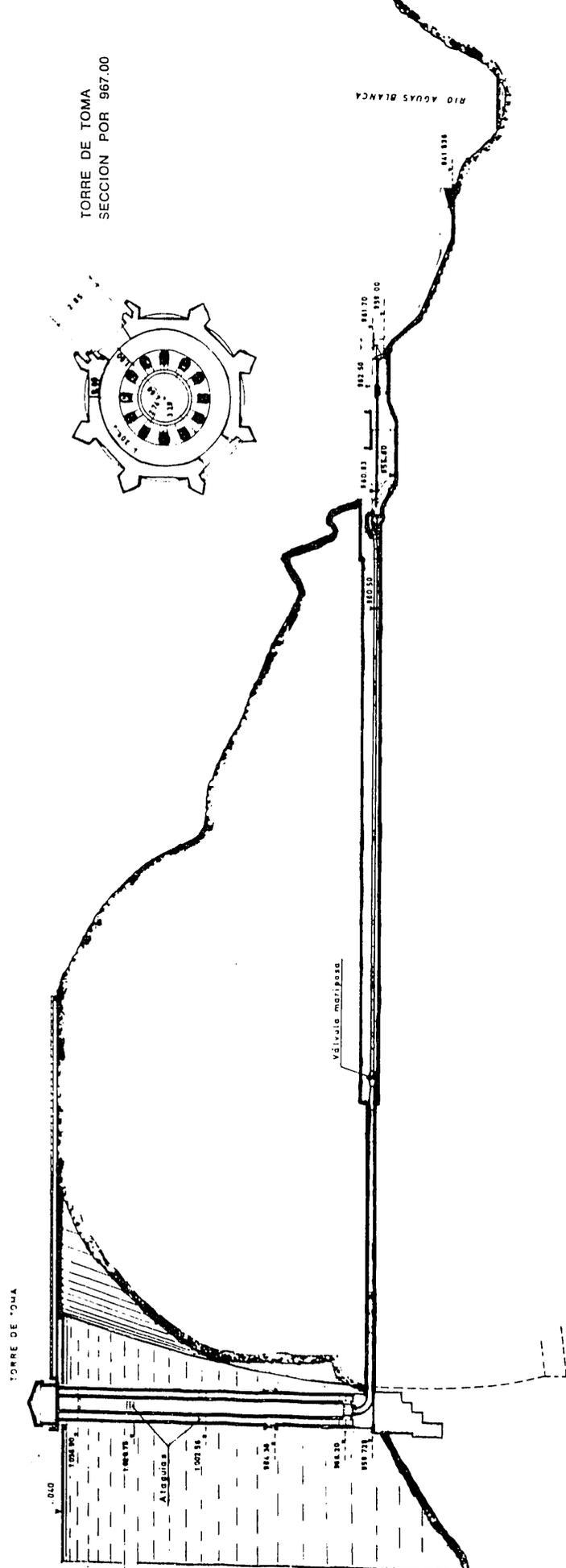
El ritmo de las excavaciones, que se estaban llevando a unos 15.000 m<sup>3</sup> mensuales, al tener que acoplarlo en esta zona al de bulonado, se redujo a algo menos de la tercera parte, e incluso menos, en alguno de los siete meses que duró. Una vez terminada se prosiguió normalmente el trabajo, ya por debajo de la cota de cauce, continuando la extracción de escombros con dumper mientras pudo rebajarse la pista de acceso, y los remates finales con el blondín. Durante este período se efectuaron también las excavaciones correspondientes al aliviadero en su parte en túnel y aguas abajo del mismo.

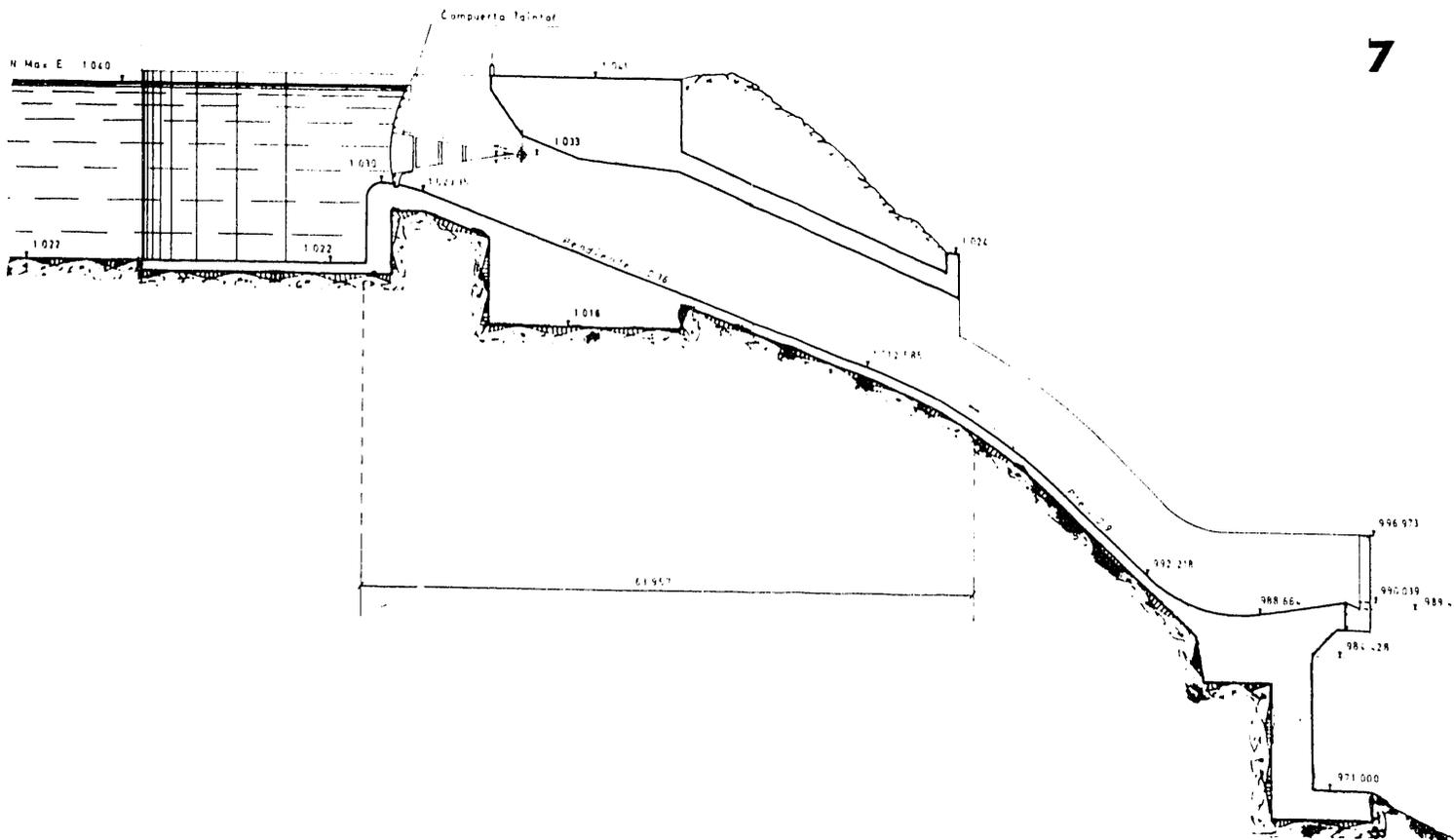
*Hormigonado.* — Al terminar las excavaciones se inició éste inmediatamente. Las instalaciones habían sido no sólo probadas, sino, por la demora sufrida, puestas a punto en los hormigones de obras secundarias; asimismo se corrigieron las características previstas para la dosificación adoptando la ya descrita y que con muy pocas variaciones se mantuvo en toda la presa.

La explotación de la cantera presentó problemas prácticamente desde sus comienzos, pues las intercalaciones de margas detectadas en los sondeos resultaron ser mucho más importantes de lo previsto; ello obligó, aparte de a unos planes de labores mucho más cuidadosos, a desechar y retirar del orden del 20 por 100 del material, así como a eliminar todo el detritus en el precibado previo al machaqueo, aumentando su separación hasta 70 mm. Asimismo se intensificó el control y lavado de las arenas, lo que llevó a aumentar las horas de funcionamiento de esta parte de la instalación, en aquellos períodos que las condiciones de la cantera eran peores. Afortunadamente, la amplitud y flexibilidad de las instalaciones previstas permitieron resolver los problemas sin merma para la calidad del hormigón ni del plazo.

Tanto la fabricación como la puesta en obra del hormigón no ofrecieron problemas, realizándose el hormigonado de la presa dentro del plan previsto y adaptado a los perfiles definitivos de la excavación; la única incidencia, pero de notable importancia, fue la avería sufrida en el motor de elevación y traslación del blondín, que supuso una parada de tres meses en tanto se procedía a su reparación.

Los bloques se replanteaban siempre antes de su encofrado desde puntos exteriores. Estos se dispusieron en tres planos horizontales a distintas cotas, para evitar ángulos verticales excesivos; en cada plano había cuatro puntos y todos los bloques eran observables al menos





desde tres de ellos. Sobre el bloque se reponían los paramentos de aguas arriba y aguas abajo, con un número de puntos que oscilaba entre cinco y diez en cada paramento, así como los puntos singulares en caso de existir.

La altura de los bloques era de 1,50 m, colocándose el hormigón en dos capas de 0,75 m; cada balde de blondín, de 6 m<sup>3</sup> de capacidad, traía tres masas completas de hormigonera, que se extendían por medio de un bulldozer AD-40. El vibrado se hacía a mano, con dos vibradores de 150 mm eléctricos a 42 V de tensión; a los mismos equipos incumbía la colocación de serpentines de refrigeración, aparatos de auscultación, drenes moldeados, pozos de péndulos y juntas de estanqueidad. Equipos independientes de los anteriores realizaban el encofrado de los bloques y galerías, así como el tratamiento de las juntas horizontales y la explotación de la instalación de refrigeración.

Los desagües de fondo se colocaron sin interrupción sensible del ritmo de hormigonado. Situados en la bóveda central a la cota 942,60 m, se dejaron embebidos en el hormigón las tuberías de 1,30 m de diámetro, realizándose a continuación, con independencia del mismo, las rejillas de aguas arriba y el montaje de las válvulas aguas abajo; las de seguridad estaban constituidas por válvulas mariposa y las de explotación por Howell-Bunger, con cono a 45°. Su accionamiento era por reductor

helicoidal en las primeras y de servomotor de aceite las segundas.

*Toma de agua.*— El túnel, cuya perforación ya se ha descrito, se revistió durante las excavaciones de la presa, dejando terminada también la parte en tubería, de  $\varnothing$  1,60 m, desde la embocadura al emplazamiento de la válvula mariposa; en este período se ejecutaron también los cimientos de la torre.

Iniciado el hormigonado de la presa, una vez suprimido el tránsito regular por el cauce del río, se procedió a la excavación y hormigonado de las obras correspondientes, en la salida del túnel, al cuenco amortiguador y tranquilizador, incorporación a la conducción de Granada y aliviadero de restitución al río de las aguas sobrantes en su caso.

En la zona a embalsar se levantaba la torre de toma, circular de doble cámara, cuya ejecución y montaje de elementos debía realizarse en plazo relativamente breve. Por tanto, y a pesar de su sección nada sencilla, se decidió proceder a su hormigonado mediante la utilización de un encofrado deslizante. Completada su base hasta la cota del túnel, se dispuso el equipo correspondiente sobre ella; al encofrado se acopló un tolva metálica en la que se depositaba el hormigón con el blondín, y desde la que con una pequeña cinta giratoria se distribuía uniformemente en los dos anillos de la torre. El acceso de

personal se hacía por un elevador adosado a la torre que se recrecía al mismo tiempo que ella. De esta forma, y sin interferir en la presa, ya que el volumen de hormigón era muy pequeño relativamente, se hormigonó la torre, de 80 m de altura, en diecinueve días laborables. A continuación se montaron los elementos metálicos, transportándolos también con el blondín y conservando el mismo acceso de personal durante el mismo. Alcanzada la coronación de la presa se montó la pasarela definitiva, constituida básicamente por dos vigas pretensadas en L, prefabricadas, de 17 Tm cada una y que fueron colocadas en su emplazamiento mediante el blondín.

*Aliviadero.*— Al ser su plazo el mismo que el final de la presa, se le consideró como tajo regulador de los demás, intercalándose entre ellos y siendo prácticamente lo último que se terminó.

*Inyecciones.*— Cuando los bloques de hormigón alcanzaban una altura entre 5 y 10 metros sobre el terreno se hacían unas inyecciones de cosido. Dispuestas al tresbolillo, cada 6 m, en filas cada 3 m, los taladros verticales penetraban 5 m en la roca. En las paredes laterales, con la misma disposición en planta los taladros se perforaban con una inclinación de 45°. La admisión fue del orden de 50 Kg/m.l. Los taladros de la pantalla de drenaje entre galerías se inyectaron, cuando fue necesario, con doble circulación, dejándolos limpios después de la misma a fin de no utilizarlos en su efecto drenante.

La inyección de las juntas transversales, desde las ga-

lerías, no ofreció ningún inconveniente, ejecutándose una vez alcanzadas las temperaturas previstas en los distintos recintos; el tiempo transcurrido entre el último hormigón colocado y el comienzo posible de las inyecciones osciló entre tres meses para el mínimo y cuatro el máximo. De estos periodos sólo el último mes se refrigeraba con agua a 4° y el resto con agua de río.

La inyección se hacía desde la galería que limitaba inferiormente el recinto, a través de la ranura horizontal moldeada en el hormigón, después de haber procedido a su lavado con agua. Su control se hacía desde la galería superior en los conductos colectores horizontal y vertical que desembocaban en la misma.

*Cierre del desvío del río.*— Gracias a la disposición en el proyecto éste no ofrecía la menor dificultad. Una vez inyectadas las juntas en sus dos recintos inferiores desde el canal a cielo abierto se restituyeron las aguas al cauce del río y se desaguaron por los desagües de fondo, quedando completamente en seco el túnel de desvío, por lo que pudo hormigonarse un tapón de 25 m de longitud con toda facilidad.

Inyectado el siguiente recinto, se procedió al cierre de los desagües de fondo, obteniéndose un embalse parcial un año antes de la terminación de la presa, embalse que, si bien por su volumen no era muy importante, fue suficiente para evitar los riesgos que podían derivarse de un estiaje excesivamente prolongado en el suministro de agua a Granada.